Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"

Suplementação luminosa no tomateiro cultivado em diferentes sistemas de condução em ambiente protegido

Renes Rossi Pinheiro

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em Ciências. Área de concentração: Fitotecnia

Piracicaba
2016

Renes Rossi Pinheiro
Engenheiro Agrônomo

Suplementação luminosa no tomateiro cultivado em diferentes sistemas de condução em ambiente protegido

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientadora:
Prof.ª Dra. **SIMONE DA COSTA MELLO**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em Ciências. Área de concentração: Fitotecnia

Piracicaba
2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - DIBD/ESALQ/USP

Pinheiro, Renes Rossi
Suplementação luminosa no tomateiro cultivado em diferentes sistemas de condução em ambiente protegido / Renes Rossi Pinheiro. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2016.
97 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Iluminação artificial 2. LED 3. Número de hastes 4. Minitomate I. Título

CDD 635.642
P654s

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

DEDICO

Aos meus pais José Renes Pinheiro e Marta Helena Cassol Rossi,
pelo o seu grande amor e apoio incondicional,
por tudo o que fizeram e farão por mim.

A minha esposa Ani Caroline Grigion Potrich, pelo seu amor,
paciência, amizade e cumplicidade.

Aos meus irmãos Henri Rossi Pinheiro e Márcio Rossi Pinheiro,
pelo seu amor, fraternidade e exemplo de fé e de luta.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por me conceder a vida e me tornar capaz de enfrentar os desafios que ela me proporciona.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” por permitir a realização do curso de doutorado e pelo apoio no desenvolvimento deste projeto.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudo.

À minha orientadora professora Simone da Costa Mello, pela orientação, paciência e confiança. Sua intensa dedicação e apoio foram fundamentais para a realização desta tese.

Ao professor Paulo César Tavares de Melo, pela acolhida e orientação inicial, por toda experiência e informações compartilhadas, pela confiança e amizade.

Ao professor Keigo Minami, por todos os ensinamentos, amizade, confiança e exemplo. Obrigado por me atender sempre prontamente e com muita atenção.

À todos os funcionários do setor de Horticultura da ESALQ, em especial ao Aparecido Donizete Serrano pela ajuda e amizade.

Aos secretários do departamento de produção vegetal e do programa de pós-graduação em fitotecnia da ESALQ, Elisabete Sarkis São João, Maria Célia Rodrigues, Paulo Jaoude e Luciane Aparecida Lopes Toledo, pela atenção, apoio e amizade.

Ao colega Rafael Campagnol pela amizade e grandiosa ajuda na elaboração, instalação e condução do experimento.

À todos os colegas graduandos e pós-graduandos do Grupo de Estudos e Práticas em Olericultura (GEPOL) pelo importante auxílio no experimento.

Aos colegas Vinicius Shizuo Abuno, Gean Charles Monteiro e Guilherme Shinji Harano pelo trabalho árduo e amizade, sem vocês a condução deste experimento não seria possível.

Aos colegas Sueyde Fernandes de Oliveira e Gustavo Quesada Roldán pela amizade, apoio e colaboração.

Aos colegas Mateus Tonini Eitelwein e Mauricio Roberto Cherubin pela grande amizade e colaboração nesse trabalho. Não dividimos apenas a moradia, dividimos sonhos e vocês foram verdadeiramente minha família neste período, obrigado por tudo.

Aos amigos do “sexteto”, Roberto, Luisa, Matheus e Marielle, mesmo distante neste período sempre me apoiaram com muito amor e carinho.

À minha esposa Ani Caroline, pelo seu amor, seu constante apoio e sua espera.

Aos meus pais José Renes e Marta Helena por acreditar sempre em mim.

Aos meus irmãos Henri e Márcio, pelo carinho e por estar presente em cada fase da minha vida.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a conclusão deste trabalho e que por ventura não mencionei, meu sincero agradecimento.

“Não é o mais forte que sobrevive, nem o mais inteligente,
mas o que melhor se adapta às mudanças.”
(Charles Darwin)

SUMÁRIO

RESUMO.....11
ABSTRACT.....13
LISTA DE FIGURAS.....15
LISTA DE TABELAS.....17
1 INTRODUÇÃO.....21
Referências.....23
2 ASPECTOS GERAIS DA CULTURA DO TOMATEIRO, DOS SISTEMAS DE CONDUÇÃO E DA SUPLEMENTAÇÃO LUMINOSA EM AMBIENTE PROTEGIDO.....25
Resumo.....25
Abstract.....25
2.1 Introdução.....25
2.2 Cultura do tomateiro.....27
2.3 Sistemas de condução.....28
2.4 Suplementação luminosa.....29
2.5 Conclusões.....31
Referências.....31
3 SUPLEMENTAÇÃO LUMINOSA E SISTEMA DE CONDUÇÃO DO TOMATEIRO: EFEITO SOBRE A PRODUTIVIDADE DE FRUTOS, MORFOLOGIA DA PLANTA E EFICIÊNCIA DO USO DE ÁGUA E NUTRIENTES.....35
Resumo.....35
Abstract.....35
3.1 Introdução.....36
3.2 Material e métodos.....37
3.3 Resultados e discussão.....44
3.4 Conclusões.....54
Referências.....55
4 SUPLEMENTAÇÃO LUMINOSA E SISTEMA DE CONDUÇÃO DO TOMATEIRO: EFEITOS SOBRE OS ASPECTOS QUALITATIVOS DOS FRUTOS, TEOR DE NUTRIENTES NAS FOLHAS E CARACTERÍSTICAS DA SOLUÇÃO DRENADA.....59
Resumo.....59

Abstract.....59
4.1 Introdução.....60
4.2 Material e métodos.....61
4.3 Resultados e discussão.....64
4.4 Conclusões.....81
Referências.....81
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....85
APÊNDICES.....87

RESUMO

Suplementação luminosa no tomateiro cultivado em diferentes sistemas de condução em ambiente protegido

O auto sombreamento das folhas posicionadas nas porções inferiores do dossel de plantas pode limitar a produtividade em cultivos tutorados. Assim, a produtividade do tomateiro pode ser aumentada por meio da suplementação luminosa posicionada no interior do dossel, técnica conhecida como *interlighting*. O sistema de condução do tomateiro também interfere na distribuição da radiação solar, além de afetar os tratos culturais, a competição intra e entre plantas e a relação entre as partes vegetativas e reprodutivas. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência do sistema de condução de minitomate cultivar 'Sweet Grape' em diferentes números de hastes por planta (duas, três e quatro hastes) e da suplementação luminosa com módulos de LED na produtividade e qualidade dos frutos, na eficiência do uso de água e nutrientes, além da morfologia das plantas e fatores relacionados ao manejo cultural, em ambiente protegido nas condições climáticas do sudeste brasileiro. Ao longo do ciclo de cultivo foram avaliados os seguintes parâmetros: volume irrigado, pH, condutividade elétrica, porcentagem e volume da solução drenada pelos vasos. As colheitas foram realizadas semanalmente, a partir de 90 dias após o transplante. Os frutos colhidos foram classificados, contados e pesados para a obtenção do número e massa de frutos grandes, médios, pequenos, comercial, não comercial e total. Amostras de frutos e tecidos foliares foram coletadas em cinco períodos e avaliadas quanto ao teor de sólidos solúveis, pH, acidez titulável e concentração de ácido ascórbico nos frutos e teor de nutrientes nas folhas. Além disso, ao final do ciclo cultural, foram realizadas as medições dos seguintes parâmetros morfológicos nas plantas: comprimento de hastes, número de cachos normais e bifurcados por hastes e diâmetro apical, mediano e basal das hastes. A suplementação luminosa apresentou aumento no número e na massa de frutos grandes e médios, elevando a produtividade total em 12%. Plantas com duas e três hastes apresentaram maior acúmulo de massa total de frutos, porém plantas com três hastes apresentaram maior massa de frutos não comerciais, com redução na massa de frutos comerciais. A maior eficiência no uso de água e nutrientes foi alcançada em plantas cultivadas com duas hastes. Plantas com quatro hastes demandaram mais solução nutritiva comparada às plantas com duas e três hastes. Esta maior demanda de solução, acarretou em aumento da condutividade elétrica da solução drenada. Plantas com quatro hastes apresentaram maiores teores de sólidos solúveis nos frutos. A suplementação luminosa também resultou em aumento do teor de sólidos solúveis e ligeiro aumento no teor de ácido ascórbico nos frutos. A suplementação luminosa favoreceu o acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio nas folhas do tomateiro. Desta forma, conclui-se que a suplementação luminosa é uma estratégia de manejo tecnicamente viável nas condições climática estudada. O sistema de condução de haste afeta a produtividade e qualidade dos frutos do tomateiro. Plantas com duas hastes além de apresentar maior produtividade de frutos comerciais, mostrou-se a estratégia mais eficiente no uso da água e nutrientes.

Palavras-chave: Iluminação artificial; LED; Número de hastes; Minitomate

ABSTRACT

Light supplementation on tomato cultivated in different management systems in greenhouse

The auto shading of leaves located within lower part of plant canopy can limit productivity of the tutored crops. Therefore, tomato productivity can be enhanced through supplementation of light positioned within the canopy using a technique known as interlighting. In addition, management system also affects the distribution of solar radiation, cultural practices as well as intra and between plants competition, which changes the relationship between vegetative and reproductive parts. The objective of this study was to evaluate the influence of different numbers of stems per plant (two, three and four stems) and light supplementation with LED modules in productivity and quality of the fruit of cherry tomato cv. “Sweet Grape”. Furthermore, it was quantified the efficient use of water and nutrients, plant morphology and factors related to cultural management. The experiment was conducted in a greenhouse located in Piracicaba, southeastern Brazil, using a randomized block design with four replications. Throughout crop cycle were evaluated the following parameters: Irrigated water volume, pH, electrical conductivity, percentage and volume of drained solution. Fruit samples were collected weekly from 90 days after transplantation of tomato seedlings. The harvested fruits were sorted, counted and weighed to obtain number and weight of large, medium, small, commercial, non-commercial and total fruits. Fruit samples and leaf tissues were collected in five periods for quantifying soluble solids, pH, titratable acidity and concentration of ascorbic acid in fruit and nutrient content in the leaves. Furthermore, in the end of the crop cycle, measurements of the following plant morphological parameters were performed: length stems, number of normal and bisected by stems clusters and apical, middle and basal diameter of the stems. Our findings showed that light supplementation induced higher number and mass of large and medium commercial fruit, increasing total productivity by 12%. Two- and three-stem plants had higher total mass accumulation of fruit, but three-stem plants had greater mass of non-commercial fruit, with a reduction in the mass of commercial fruits. The more efficient use of water and nutrients was achieved by two-stem plants. Four-stem plants demanded more nutrient solution compared to two- and three-stem plants, resulting in an increased electrical conductivity of the drained nutrient solution. Four-stem plants had higher soluble solids in the fruit. The light supplementation also resulted in an increase of soluble solids and a slight increase in the ascorbic acid content in fruits. The light supplementation favored the accumulation of nitrogen, phosphorus and potassium within tomato leaves. We concluded that the light supplementation is a technically feasible management strategy in the climatic conditions studied. The management system affects the productivity and quality of cherry tomato fruits. Two stem plants had higher productivity of commercial fruits, as well as it proved to be the most effective strategy in the use of water and nutrients.

Keywords: Artificial lighting; LED; Number of stems; Cherry tomato

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Detalhe da barra de LED (A), do posicionamento destas no interior do dossel do tomateiro (B) e dos sistemas de condução de planta, com duas, três e quatro hastes (C).....38

Figura 2 - Temperatura média do ar (A), umidade relativa do ar média diária (B), diferença entre a temperatura média do ar diária diurna e noturna e radiação fotossinteticamente ativa (RFA) sobre o dossel (3 metros) e no interior do dossel (1,5 metros) ao longo do período experimental. Registros diurnos ocorreram das 7:00h às 19:00h e noturno das 19:00h às 7:00h.....40

Figura 3 - Classificação dos frutos de minitomate cultivar 'Sweet Grape', separados em diferentes estágios de maturação.....42

Figura 4 - Esquema representativo das caixas utilizadas para a classificação de minitomate em diferentes classes de tamanho. A) conjunto das três caixas sobrepostas; B) caixas individuais com detalhes da distribuição dos orifícios nas bases.....43

Figura 5 - Contribuição relativa de massa de frutos grandes (MFG), massa de frutos médios (MFM) e massa de frutos pequenos (MFP) (A). Massa total de frutos comerciais (MFC) e massa total de frutos não comerciais (MFNC) (B) em minitomate cv. Sweet Grape cultivado com e sem suplementação luminosa.....47

Figura 6 - Contribuição relativa para massa de frutos comerciais (MFC) e massa de frutos não comerciais (MFNC) (A). Massa de frutos grandes (MFG), massa de frutos médios (MFM) e massa de frutos pequenos (MFP) (B) em minitomate cv. Sweet Grape cultivado com diferentes sistemas de condução de plantas (2H = duas hastes, 3H = três hastes, 4H = quatro hastes).....47

Figura 7 - Massa total de frutos por quinzena (A) e acumulado (B), massa de frutos comerciais por quinzena (C) e acumulado (D) e massa de frutos não comerciais por quinzena (E) e acumulado (F) ao longo do ciclo de minitomate cv. Sweet Grape cultivado com e sem suplementação luminosa.....49

Figura 8 - Massa total de frutos por quinzena (A) e acumulado (B), massa de frutos comerciais por quinzena (C) e acumulado (D) e massa de frutos não comerciais por quinzena (E) e acumulado (F) ao longo do ciclo de minitomate cv. Sweet Grape cultivado com diferentes sistemas de condução de plantas.....50

Figura 9 - Eficiência do uso da solução nutritiva (gramas de tomate fresco x solução nutritiva L^{-1}) em função do sistema de condução de plantas (H). * Médias seguidas pela mesma letra sobre a coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%.....54

Figura 10 - Média do volume de solução nutritiva irrigado, volume de solução drenado pelos vasos e porcentagem de drenagem pelos vasos no primeiro pulso de irrigação do dia, ao longo do ciclo de minitomate cv. Sweet Grape cultivados com e sem suplementação luminosa.....68

Figura 11 - Média do volume de solução nutritiva irrigado, volume de solução drenado pelos vasos e porcentagem de drenagem pelos vasos no primeiro pulso de irrigação do dia, ao longo do ciclo de minitomate cv. Sweet Grape cultivados com diferentes sistemas de condução de plantas (2H = duas hastes, 3H = três hastes, 4H = quatro hastes).....69

Figura 12 - Variação do pH e da condutividade elétrica (CE) na solução drenada pelos vasos de cultivo ao longo do ciclo de minitomate cv. Sweet Grape cultivado com e sem suplementação luminosa.....70

Figura 13 - Variação do pH e da condutividade elétrica (CE) na solução drenada pelos vasos de cultivo ao longo do ciclo de minitomate cv. Sweet Grape cultivado com diferentes sistemas de condução de plantas.....71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Soluções nutritivas para o cultivo de tomate ‘Sweet Grape’.....42

Tabela 2 - Valor de F para as características massa de frutos grandes (MFG), massa de frutos médios (MFM), massa de frutos pequenos (MFP), massa de frutos comerciais (MFC), massa de frutos não comerciais (MFNC) e massa total de frutos (MTF), número de frutos grandes (NFG), número de frutos médios (NFM), número de frutos pequenos (NFP), número de frutos comerciais (NFC) e número de frutos não comerciais (NFNC) em frutos frescos de minitomate em função da suplementação luminosa com LED (L) e sistemas de condução de plantas (H).....45

Tabela 3 - Massa de frutos grandes (MFG), massa de frutos médios (MFM), massa de frutos pequenos (MFP), massa de frutos comerciais (MFC), massa de frutos não comerciais (MFNC) e massa total de frutos (MTF) em minitomate cv. Sweet Grape cultivado com e sem suplementação luminosa e em diferentes sistemas de condução de plantas (2H = duas hastes, 3H = três hastes, 4H = quatro hastes).....46

Tabela 4 - Número de frutos grandes (NFG), número de frutos médios (NFM), número de frutos pequenos (NFP), número de frutos comerciais (NFC) e número de frutos não comerciais (NFNC) em minitomate cv. Sweet Grape cultivado com e sem suplementação luminosa e em diferentes sistemas de condução de plantas (2H = duas hastes, 3H = três hastes, 4H = quatro hastes).....48

Tabela 5 - Valores de F para as características comprimento de haste (COMP), número de cachos por hastes (NC), número de cachos bifurcados por hastes (NCB), diâmetro apical da haste (DH1), diâmetro mediano da haste (DH2) e diâmetro basal de haste (DH3) em plantas de minitomate cv. Sweet Grape cultivado com e sem suplementação luminosa e diferentes sistemas de condução de plantas (2H = duas hastes, 3H = três hastes, 4H = quatro hastes).....51

Tabela 6 - Comprimento de haste (COMP), número de cachos por hastes (NC), número de cachos bifurcados por hastes (NCB), diâmetro apical da haste (DH1), diâmetro mediano da haste (DH2) e diâmetro basal de haste (DH3) em plantas de minitomate cv. Sweet Grape cultivado com e sem suplementação luminosa e

diferentes sistemas de condução de plantas (2H = duas hastes, 3H = três hastes, 4H = quatro hastes).....52

Tabela 7 - Valor de F para as características eficiência do uso da solução nutritiva (EF), eficiência do uso de Nitrogênio (N), eficiência do uso de Fósforo (P), eficiência do uso de Potássio (K), eficiência do uso de Cálcio (Ca), eficiência do uso de Magnésio (Mg), eficiência do uso de Enxofre (S), eficiência do uso de Boro (B), eficiência do uso de Cobre (Cu), eficiência do uso de Ferro (Fe), eficiência do uso de Manganês (Mn), eficiência do uso de Molibdênio (Mo), eficiência do uso de Zinco (Zn) e eficiência do uso de Níquel (Ni) em função da suplementação luminosa (L) e sistemas de condução de plantas (H).....52

Tabela 8 - Eficiência do uso de Nitrogênio (N), eficiência do uso de Fósforo (P), eficiência do uso de Potássio (K), eficiência do uso de Cálcio (Ca), eficiência do uso de Magnésio (Mg), eficiência do uso de Enxofre (S), eficiência do uso de Boro (B), eficiência do uso de Cobre (Cu), eficiência do uso de Ferro (Fe), eficiência do uso de Manganês (Mn), eficiência do uso de Molibdênio (Mo), eficiência do uso de Zinco (Zn) e eficiência do uso de Níquel (Ni) em função da suplementação luminosa (L) e sistemas de condução de plantas (H).....53

Tabela 9 - Valor de F para pH, condutividade elétrica (CE), porcentagem e volume da solução nutritiva drenada pelos vasos no cultivo de minitomate em função da suplementação luminosa (L) e sistemas de condução de plantas (H).....65

Tabela 10 - Valor de F para macronutrientes no tecido foliar de minitomate cv. Sweet Grape cultivado com e sem suplementação luminosa e sistemas de condução de plantas (2H = duas hastes, 3H = três hastes, 4H = quatro hastes) ao longo do ciclo.....72

Tabela 11 - Valor de F para micronutrientes no tecido foliar de minitomate cv. Sweet Grape cultivado com e sem suplementação luminosa e diferentes sistemas de condução de plantas (2H = duas hastes, 3H = três hastes, 4H = quatro hastes) ao longo do ciclo.....73

Tabela 12 - Teores de macronutrientes no tecido foliar de minitomate cv. Sweet Grape cultivado com e sem suplementação luminosa e diferentes sistemas de condução de plantas (2H = duas hastes, 3H = três hastes, 4H = quatro hastes) ao longo do ciclo.....75

Tabela 13 - Micronutrientes ao longo do ciclo em folhas de minitomate cv. Sweet Grape cultivado com e sem suplementação luminosa e diferentes sistemas de condução de plantas (2H = duas hastes, 3H = três hastes, 4H = quatro hastes).....77

Tabela 14 - Valores de F para teor de sólidos solúveis (TSS), pH, teor de ácido ascórbico (AA) e acidez titulável (AT) em frutos de minitomate cv. Sweet Grape em função da suplementação luminosa (L) e sistemas de condução de plantas (H).....78

Tabela 15 - Teor de sólidos solúveis (TSS), pH, teor de ácido ascórbico (AA) e acidez titulável (AT) em frutos de minitomate cv. Sweet Grape em função da suplementação luminosa e sistemas de condução de plantas.....80

1 INTRODUÇÃO

O cultivo de minitomate cresceu muito nos últimos anos no Brasil, principalmente entre os produtores que adotam alto nível tecnológico. É considerada uma hortaliça diferenciada por apresentar alto valor agregado e possuir características organolépticas superiores aos frutos de tomate tradicionais, agradando muito o mercado consumidor.

As práticas culturais abrangem inúmeras atividades que contribuem substancialmente para a obtenção de frutos de tomate de melhor qualidade e aparência, agregando valor à produção e consequentemente, contribuindo para o aumento da lucratividade do empreendimento (SEDIYAMA; FONTES; SILVA, 2003; ALVARENGA, 2013). Dentre elas, a forma como as plantas são conduzidas interfere substancialmente na distribuição da radiação solar, nos tratos culturais, na competição intra e entre plantas, além de afetar a relação entre as partes vegetativas e reprodutivas.

Nesse sentido, o número de hastes por planta afeta diretamente a irradiância, principalmente no interior do dossel. Em ambientes com luz natural ou mesmo em cultivos que se utilizam iluminação artificial de topo, ocorre diminuição exponencial da irradiância com a profundidade do dossel (MONSI; SAEKI, 2005). Em plantas tutoradas, a diminuição vertical da irradiância reduz progressivamente a capacidade fotossintética das folhas de acordo com a profundidade no dossel (BOONMAN et al., 2006; XU et al., 1997).

Uma possibilidade de corrigir esta redução luminosa e fornecer um perfil de irradiação vertical mais homogêneo ao dossel de plantas, é através da utilização de iluminação artificial nas partes baixas onde ocorre o auto sombreamento das plantas, sendo uma nova abordagem em sistemas de iluminação artificial em ambiente protegido, conhecido como *interlighting*. Essa técnica consiste em fornecer a iluminação suplementar no interior do dossel da cultura, especialmente aquelas tutoradas que apresentam diferenças na radiação solar ao longo do perfil vertical das plantas. Com isso, ocorre melhor distribuição de luz no interior do dossel, o que aumenta a eficiência fotossintética das plantas e consequentemente, melhora o seu rendimento produtivo (GOMEZ et al. 2013).

Durante a última década, houve rápido desenvolvimento de diodos emissores de luz, lâmpadas conhecidas como LED (*Light Emitting Diode*), utilizadas como fonte de iluminação suplementar. As lâmpadas de LED emitem baixa irradiação térmica, baixa tensão de operação e robustez física, o que as tornam tornando adequadas para serem utilizadas como suplementação luminosa em vegetais, podendo ser posicionadas próximas às plantas (MASSA et al., 2008; MORROW, 2008). Uma das principais vantagens dessa tecnologia é a

possibilidade de controlar o sistema de iluminação utilizando espectros específicos. As lâmpadas de LED já estão disponíveis em todas as faixas espectrais e podem ser personalizadas para cada espécie vegetal, otimizando a luz para a máxima produção sem desperdício de energia com espectros luminosos improdutivo para as plantas (TAMULAITIS et al., 2005).

Diversas pesquisas com lâmpadas de LED envolvendo o cultivo de plantas hortícolas como forma de suplementação luminosa já foram realizadas (TENNESSEN; BULA; SHARKEY, 1995; SCHUERGER; BROWN; STRYJEWSKI, 1997; YORIO et al., 2001; TAMULAITIS et al., 2005, MORROW, 2008; BRAZAITYTE et al., 2009; URBONAVIČIŪTĖ; SAMUOLIENĖ; BRAZAITYTĖ, 2009). Para a cultura do tomateiro, foi verificado que as faixas do espectro de radiação que compreendem as cores vermelho e azul são basais para o crescimento, podendo ser empregadas para o aumento da produtividade desta cultura (BRAZAITYTE et al., 2010; XIAOYING et al., 2012; JAVANMARDI; EMAMI, 2013).

No mercado, módulos de LED foram desenvolvidos e estão atualmente sendo comercializados em países de alta latitude, como grande parte da Europa, Canadá e Japão, onde são utilizados para o cultivo de diversas plantas, principalmente aqueles tutorados, como o tomateiro. As lâmpadas de LED inseridas nestes módulos emitem radiação na faixa do espectro azul e vermelho, em intensidade de aproximadamente 200 µmol de fótons m^{-2} s^{-1}. No Brasil não existem estudos avaliando a eficiência do LED na cultura do tomateiro, isso justifica a realização desta pesquisa.

A hipótese desse trabalho é que (I) o uso de suplementação luminosa com módulos de LED pode aumentar a produtividade e qualidade dos frutos de mini tomate; (II) o sistema de condução de hastes pode tornar as plantas mais produtivas e (III) o sistema de condução de hastes pode tornar as plantas mais eficientes no uso de água e nutrientes.

Dessa forma, o objetivo desse trabalho foi avaliar a influência da suplementação luminosa pelo uso de módulos de LED na produtividade e qualidade do tomateiro cultivado em diferentes sistemas de condução em ambiente protegido, nas condições climáticas do sudeste brasileiro.

Referências

ALVARENGA, M.A.R. **Tomate**: produção em campo, em casa-de-vegetação e em hidroponia. Lavras: Editora Universitária de Lavras, 2013. 455p.

BOONMAN, A.; ANTEN, N P.R; DUECK, T.A.; JORDI, W.; VAN DER WERF, A.; VOESENEK, L.; PONS, T.L. Functional significance of shade-induced leaf senescence in dense canopies: an experimental test using transgenic tobacco. **The American Naturalist**, Chicago, v. 168, p. 597–607, 2006.

BRAZAITYTĖ, A.; DUCHOVSKIS, P.; URBONAVIČIŪTĖ, A.; SAMUOLIENĖ, G.; JANKAUSKIENĖ, J.; KASIULEVIČIŪTĖ-BONAKĖRĖ, A.; BLIZNIKAS, Z.; NOVIČKOVAS, A.; BREIVĖ, K.; ŽUKAUSKAS, A. The effect of light-emitting diodes lighting on cucumber transplants and aftereffect on yield. **Zemdirbyste-Agriculture**, Kėdainiai, v. 96, p. 102–118, 2009.

BRAZAITYTĖ, A.; DUCHOVSKIS, P.; URBONAVIČIŪTĖ, A.; SAMUOLIENĖ, G.; JANKAUSKIENĖ, J.; SAKALAUSKAITĖ, J.; ŠABAJEVIENĖ, G.; SIRTAUTAS, R.; NOVIČKOVAS, A. The effect of light-emitting diodes lighting on the growth of tomato transplants. **Zemdirbyste-Agriculture**, Kėdainiai, v. 97, p. 89-98, 2010.

GOMEZ, C.; MORROW, R.C.; BOURGET, C.M.; MASSA, G.D.; MITCHELL, C.A. Comparison of intracanopy light-emitting diode towers and overhead high-pressure sodium lamps for supplemental lighting of greenhouse-grown tomatoes. **HortTechnology**, Alexandria, v. 23, p. 93–98, 2013.

JAVANMARDI, J.; EMAMI, S. Response of tomato and pepper transplants to light spectra provided by light emitting diodes. **International Journal of Vegetable Science**, Binghamton**,** v. 19, p. 138–149, 2013.

MASSA, G.D; KIM, H.H; WHEELER, R.M.; MITCHELL, C.A. Plant productivity in response to LED lighting. **HortScience**, Alexandria, v. 43, p. 1951–1956, 2008.

MONSI, M.; SAEKI, T. On the factor light in plant communities and its importance for matter production. **Annals of Botany**, Oxford, v. 95, p. 549–567, 2005.

MORROW, R.C. LED lighting in horticulture. **HortScience**, Alexandria, v. 43, p. 1947–1950, 2008.

SCHUERGER, A.C; BROWN, C.S; STRYJEWSKI, E.C. Anatomical features of pepper plants (Capsicuum annuum L.) grown under red light-emitting diodes supplemented with blue or far-red light. **Annals of Botany**, Oxford, v. 79, p. 273–282, 1997.

SEDIYAMA, M.A.N.; FONTES, P.C.R.; SILVA, D.J.H. Práticas culturais adequadas ao tomateiro. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.24, p. 19-25, 2003.

TAMULAITIS, G.; DUCHOVSKIS, P.; BLIZNIKAS, Z.; BREIVE, K.; ULINSKAITE, R.; BRAZAITYTE, A.; NOVIČKOVAS, A.; ŽUKAUSKAS, A. Highpower light-emitting diode based facility for plant cultivation. **Journal of Physics. D:** Applied Physics, London, v. 38, p. 3182–3187, 2005.

TENNESSEN, D.J; BULA, R.J; SHARKEY, T.D. Efficiency of photosynthesis in continuous and pulsed light emitting diode irradiation. **Photosynthesis Research**, Berlim, v. 44, p. 261–269, 1995.

URBONAVIČIŪTĖ, A; SAMUOLIENĖ, G; BRAZAITYTĖ, A. et al. The effect of variety and lighting quality on wheatgrass antioxidant properties. **Zemdirbyste-Agriculture**, Kėdainiai, v. 96, p. 119–128, 2009.

XIAOYING, L.; SHIRONG, G.; TAOTAO, C.; ZHIGANG, X.; TEZUKA, T. Regulation of the growth and photosynthesis of cherry tomato seedlings by different light irradiations of light emitting diodes (LED). **African Journal of Biotechnology**, v. 11, p. 6169–6177, 2012.

XU, H.L; GAUTHIER, L; DESJARDINS, Y; GOSSELIN, A. Photosynthesis in leaves, fruits, stem and petioles of greenhouse-grown tomato plants. **Photosynthetica**, Praga, v. 33, p. 113–123, 1997.

YORIO, N.C; GOINS, G.D; KAGIE, H.R; WHEELER, R.M.; SAGER, J.C. Improving spinach, radish, and lettuce growth under red light-emitting diodes (LEDs) with blue light supplementation. **HortScience**, Alexandria, **v**. 36, p. 380–383, 2001.

2 ASPECTOS GERAIS DA CULTURA DO TOMATEIRO, DOS SISTEMAS DE CONDUÇÃO E DA SUPLEMENTAÇÃO LUMINOSA EM AMBIENTE PROTEGIDO

Resumo

O mercado de hortaliças diferenciadas no Brasil é crescente e promissor, sendo o minitomate um dos produtos de maior expansão no consumo e produção nos últimos anos. Esse segmento de tomate apresenta alto valor agregado, versatilidade na apresentação ao consumo e alto valor nutricional. O sistema de condução do tomateiro em ambiente protegido é constantemente aperfeiçoado, seja pelo desenvolvimento de novas variedades ou pela introdução de novas tecnologias. A suplementação luminosa apesar de ser uma técnica já difundida em países de alta latitude ainda é novidade em regiões de clima tropical e subtropical, necessitando investigações com intuído de verificar a eficiência técnica e econômica desta tecnologia. O objetivo deste trabalho foi detalhar os aspectos da cultura do tomateiro, do sistema de condução das plantas e da suplementação luminosa em ambiente protegido.

Palavras-chave: Minitomate; Iluminação artificial; LED

Abstract

The Brazilian market of differentiated vegetables is growing and promising, which in cherry tomato has been one of the products with faster consumption and production expansion in recent years. Cherry tomato has higher commercial value, multiple utilities and high nutritional value. Management systems for cherry tomato cropped in greenhouses has been constantly improved due to either development of new varieties or introduction of new technologies. Although light supplementation is a widespread technique in high-latitude countries, it is still relatively new in the tropical and subtropical regions. Therefore, to verify the technical and economic efficiency of this technology in these regions, scientific researchers are needed. The objective of this study was to describe the principal aspects of the cherry tomato crop, management systems as well as the light supplementation effects in greenhouse cultivation.

Keywords: Cherry tomato; Artificial lighting; LED

2.1 Introdução

Nos últimos anos, houve um aumento considerável no desenvolvimento de novos produtos hortícolas e aperfeiçoamento de técnicas de cultivo, com o objetivo de agregar valor e atingir uma crescente fração do mercado que busca maior qualidade. Os frutos de minitomate são exemplo de produtos com alto valor agregado, caracterizados pela alta concentração de sólidos solúveis, bem superior às apresentadas pelas variedades de tomates comumente encontrados no mercado.

É crescente a produção de minitomate em ambiente protegido, tal prática requer manejo intensivo e uma quantidade elevada de investimento, especialmente em fertilizantes e mão de obra. Os custos com mão de obra, frequentemente ultrapassam 30% dos custos de produção. Várias operações manuais são realizadas constantemente durante o ciclo cultural, como a remoção dos brotos axilares, poda de formação das hastes a serem conduzidas, remoção das folhas mais velhas a fim de evitar as doenças e facilitar a colheita; raleio de cachos visando adaptar a carga de frutos e melhorar sua qualidade, entre outros (NAVARRETE; JEANNEQUIN, 2000).

A poda de formação do tomateiro, apesar de ser uma operação manual, que demanda tempo e pessoal qualificado, melhora a penetração de luz no interior do dossel das plantas e aumenta a eficiência fotossintética, podendo resultar em aumento na produção de frutos (AMBROSZCZYK; CEBULA; SEKARA, 2008). O equilíbrio apropriado entre crescimento vegetativo e reprodutivo aumenta a quantidade e a qualidade dos frutos produzidos (ARZANI; BAHADORI; PIRI, 2009).

Uma tecnologia promissora em ambiente protegido que está sendo introduzida atualmente no Brasil de forma comercial, são os módulos de LED, que apresentam inúmeras vantagens técnicas e operacionais sobre as fontes tradicionais de iluminação já existentes no mercado. Contudo sua utilização na horticultura de forma comercial é recente, necessitando de avaliações de desempenho em diferentes condições de cultivo (MITCHELL et al., 2012). Uma das principais características desses módulos é que podem emitir luz em diferentes comprimentos de onda, a partir de UV-C (~ 250 nm) até o infravermelho (~ 1000 nm) (BOURGET, 2008). É a primeira fonte de luz que possui verdadeiro controle espectral, permitindo selecionar comprimentos de onda específicos a fim de influenciar a morfologia e composição da planta proporcionando uma maior qualidade na produção vegetal (MORROW, 2008). Devido ao seu uso extensivo em outras aplicações industriais, a tecnologia LED tem avançado rápida e progressivamente, contribuindo também para os avanços na iluminação na horticultura.

Com isso, o objetivo deste capítulo foi detalhar os aspectos da cultura do tomateiro em especial do segmento de minitomate, do sistema de condução das plantas e da suplementação luminosa na horticultura.

2.2 Cultura do tomateiro

O tomate (*Solanum lycopersicum* L.), espécie originária da América do Sul, é uma das hortaliças mais cultivadas no mundo, sendo produzida em diferentes latitudes geográficas em sistemas de cultivo ao ar livre ou sob proteção, com ou sem solo e sob diferentes níveis tecnológicos e de manejo cultural (MELO; MELO, 2013).

No Brasil, no ano de 2015 foram produzidas 3.686.816 toneladas de tomate em uma área de 56.880 hectares, com rendimento médio de 64,8 Mg ha^{-1}. Deste total, cerca de 70% são destinadas ao consumo in natura e o saldo restante para indústria de processamento. As regiões Sudeste e Centro-Oeste concentraram 69% da produção nacional, com a liderança dos estados de Goiás (879,6 mil Mg), Minas Gerais (715,9 mil Mg), São Paulo (568,9 mil Mg), Paraná (261,4 mil Mg), Bahia (244,5 mil Mg) e Rio Grande do sul (221,9 mil Mg) (IBGE, 2016).

O Brasil é o 8º maior produtor mundial de tomate, mas detém apenas 2,8% da produção global (FAO, 2014). Essa atividade é de relevante importância socioeconômica para o país, em 2013, devido à alta dos preços do tomate de mesa, o valor bruto da produção desse produto atingiu 10 bilhões de reais (ZAFALON, 2014).

Grandes transformações na cadeia produtiva brasileira do tomate vêm ocorrendo desde o final da década passada, orientadas para a sua modernização e aumento da produtividade. Como consequência, a produtividade média brasileira de tomate (segmento de mesa e indústria) vem aumentando de forma significativa e consistente desde o início da década de 1980. Nas décadas de 1980, 1990, 2000 e 2010, até o momento, os rendimentos médios foram de 33,9 Mg ha^{-1}, 42,0 Mg ha^{-1}, 57,9 Mg ha^{-1} e 63,0 Mg ha^{-1} respectivamente. A produtividade alcançada em 2015 foi de 64,8 Mg ha^{-1}, enquanto que em 1980, era apenas 30,6 Mg ha^{-1} (IBGE, 2016). Dessa forma, em menos de quatro décadas, a produtividade do tomateiro aumentou 111%. É importante mencionar que para os produtores que adotam alto nível de manejo cultural e insumos modernos, a produtividade, em geral, é superior a 100 Mg ha^{-1}, tanto nos cultivos tutorados, cuja produção se destina ao consumo fresco, quanto nas lavouras rasteiras, onde é produzida, usualmente, matéria-prima para o processamento industrial.

Dentro do segmento de tomate de mesa, o cultivo de minitomate cresceu muito nos últimos anos no Brasil, principalmente entre os produtores que adotam alto nível tecnológico. Os frutos de minitomate de modo geral, apresentam características organolépticas superiores aos frutos de cultivares tradicionais, o que favorece a agregação de valor ao produto. Enquanto os tomates tradicionais possuem teor de sólidos solúveis nos frutos variando de 4 a

6 ºBrix, os frutos de minitomates, facilmente atingem valores superiores a 8º Brix. Outro atrativo desse segmento de tomate é o seu tamanho reduzido, sendo consumido como aperitivos em saladas e coquetéis. As características de sabor e aparência ampliam as possibilidades de aplicação culinária dos minitomates, além da facilidade de preparo, uma vez que podem ser consumidos inteiros ou cortados pela metade. Além disso, as cultivares desse segmento apresentam, para o produtor, precocidade, boa produtividade, rusticidade e adaptação ao cultivo em ambiente protegido.

Os minitomates atingem cotações de mercado muito superiores aos outros tipos de tomates, principalmente em relação aos tipos salada. Segundo a CEAGESP (2016), o valor pago por 1 quilo de minitomate, no mês de fevereiro de 2016, foi de R$ 6,77, enquanto que para os tomates do grupo salada extra, extra A, e extra AA, no mesmo período, o valor pago por kg foi de R$ 2,39, 3,14 e 3,88, respectivamente. Nos supermercados, onde é encontrada uma variedade maior de minitomates, vendidos em embalagens de plástico transparente ou bandejas de isopor, o valor pago por kg pelos consumidores pode ultrapassar R$ 20,00.

2.3 Sistemas de condução

O uso de práticas culturais adequadas pode contribuir substancialmente para a obtenção de frutos de tomate de melhor qualidade e aparência, agregando valor à produção e, consequentemente, contribuindo para o aumento da lucratividade do empreendimento (SEDIYAMA; FONTES; SILVA, 2003; MARIM et al., 2005; SHIRAIGE et al., 2010). Para esses autores, as práticas culturais empregadas no tomateiro são os sistemas de condução das plantas, método de tutoramento, densidade de plantio e as operações de desbrota, poda apical e desbaste de frutos.

O manejo das plantas, por meio de um sistema de condução adequado para o cultivo, através de podas de ramos e frutos, promove a melhor relação entre fonte e dreno, distribuição da radiação solar e ventilação das plantas, resultando em maior produção e homogeneidade de frutos (FRANCO et al., 2009).

Os sistemas de condução de plantas têm por objetivo permitir a melhor distribuição da radiação solar sobre o dossel, facilitar os tratos culturais, reduzir a competição intra e entre plantas e promover a melhor relação entre as partes vegetativas e reprodutivas, contribuindo para o aumento da produtividade e da qualidade do produto (ARA et al., 2007).

Atualmente, existem diversos sistemas de condução usados no tomateiro, sendo que as diferenças entre eles referem se a adaptações regionais ou alterações feitas por produtores ou

preconizadas por pesquisadores na tentativa de reduzir os custos de produção e aumentar a produtividade de cada material. De maneira geral, os sistemas de condução devem possibilitar ao agricultor fácil acessibilidade à parte da planta a ser trabalhada, possibilitando que as práticas culturais sejam realizadas com maior eficiência.

O sistema tradicional de condução onde as hastes das plantas são guiadas na vertical por meio de fitilhos plásticos evoluiu para outros sistemas, como o "deslocado" ou "carrossel", onde as hastes são abaixadas e deslocadas todas no mesmo sentido, permitindo que a planta cresça mais (NUEZ, 2001). Esse sistema, atualmente, é um dos mais utilizados pelos produtores europeus, pois possibilita o prolongamento do ciclo produtivo. Alguns produtores brasileiros utilizam esse sistema no cultivo de tomates que recebem maior cotação no mercado e/ou que possuem sementes de alto valor agregado, como o híbrido de minitomate Sweet Grape®.

Cabe ressaltar, que a escolha do sistema de condução dever ser realizada em função do genótipo utilizado, das condições ambientais de cultivo, do mercado consumidor, da ocorrência de certas pragas e doenças e da disponibilidade de recursos financeiros e de mão-de-obra.

2.4 Suplementação luminosa

A utilização de lâmpadas elétricas teve início há cerca de 150 anos (WHEELER, 2008). Inicialmente foram desenvolvidas as lâmpadas incandescentes de arco aberto e posteriormente as lâmpadas de descarga de gases, que atualmente ainda são as mais populares para iluminação suplementar na horticultura. Lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão, conhecidas como HPS, possuem alta eficiência elétrica, com vida longa de operação e um amplo espectro luminoso, a qual é adequada para muitas espécies vegetais (WHEELER, 2008). Estas lâmpadas emitem luz visível (400-700 nm) e não-visível (700-850 nm), mas o pico de emissão está na região da luz amarela (~ 589 nm), faixa do espectro que provoca o estiolamento das plantas, característica indesejada para a maioria das espécies vegetais (WHEELER; MACKOWIAK; SAGER, 1991; GŁOWACKA, 2002).

O diodo emissor de luz, mais conhecido como LED (*Light Emitting Diode*), representa uma tecnologia diferente das lâmpadas de descarga gasosa. Essa fonte de luz apresenta muitas vantagens em relação as demais tecnologias de iluminação existente. Apresentam dispositivos eletrônicos de alta eficiência radiante, vida longa, baixa emissão de calor, emissão específicas de estreitos espectros luminosos, curto tempo de comutação e não contêm mercúrio na sua

composição (MASSA et al., 2008; MORROW, 2008). Uma das principais vantagens de utilização das lâmpadas de LED é a possibilidade de controlar o produto espectral do sistema de iluminação. As lâmpadas de LED já estão disponíveis em toda a faixa espectral e pode ser personalizada para cada cultura vegetal específica, otimizando a luz para a máxima produção vegetal sem desperdício de energia em improdutivos comprimentos de onda (TAMULAITIS et al., 2005).

O alto custo de investimento inicial ainda é um aspecto importante que retarda a utilização desta tecnologia na horticultura. Apesar disso, o desenvolvimento tecnológico do LED reduzirá os custos de investimento e operacionais em um futuro próximo (MASSA et al. 2008, MORROW 2008, YEH; CHUNG 2009, VANNINEN et al. 2010). Para culturas de alto valor agregado, como o minitomate, essa tecnologia tem maior potencial de uso, pois eleva a produtividade e a lucratividade do empreendimento, compensando o aumento nos custos de produção. A principal vantagem dos diodos de LED sobre todos os outros tipos de lâmpadas utilizadas na iluminação vegetal é que essa tecnologia está evoluindo rapidamente, principalmente em relação à eficiência na utilização de energia elétrica (MITCHELL et al. 2012). A eficiência do LED está projetada para aumentar consideravelmente durante a próxima década, tanto como eficiência elétrica, como eficácia no fluxo de fótons (PINHO; JOKINEN; HALONEN, 2012). Essa evolução tornará o uso de LED no cultivo de plantas mais eficiente e viável economicamente.

Embora as pesquisas com lâmpadas de LED na horticultura ainda estejam em estágio inicial de desenvolvimento (MORROW, 2008; OLLE; VIRŠILĖ, 2013), já foram usadas em ambiente protegido em diversas culturas como forma de suplementação luminosa (TENNESSEN; BULA; SHARKEY, 1995; URBONAVIČIŪTĖ et al., 2009), tais como em pepino (BRAZAITYTĖ et al., 2009), em pimentão (SCHUERGER; BROWN; STRYJEWSKI, 1997), em espinafre, rabanete, e alface (YORIO et al., 2001) em tomate (BRAZAITYTĖ et al., 2010; GOMEZ et al., 2013) entre outras culturas, porém evidencia-se a necessidade de mais investigações, principalmente em regiões de baixa latitude em climas tropicais e subtropicais, o que pode ser de extrema importância a fim de possibilitar a introdução desta tecnologia e estabelecer possíveis manejos culturais de diferentes espécies vegetais que respondam a variação na intensidade e qualidade luminosa.

2.5 Conclusões

O minitomate é considerado uma hortaliça diferenciada por apresentar alto valor agregado e possuir características organolépticas superiores aos frutos de tomate tradicionais, sendo um mercado crescente e promissor no Brasil.

Atualmente existem diversos sistemas de condução de plantas, tendo por objetivo permitir o desenvolvimento satisfatório do material cultivado, melhorando a distribuição da radiação solar sobre o dossel e consequentemente sua produtividade.

O LED é uma tecnologia de iluminação artificial com alto potencial de uso como suplementação luminosa em ambiente protegido, em especial em cultivos tutorados de alto valor agregado.

Referências

AMBROSZCZYK, A.M.; CEBULA, S.; SEKARA, A. The effect of plant pruning on the light conditions and vegetative development of eggplant (*Solanum melongena L.*) in greenhouse cultivation. **Vegetable Crops Research Bulletin**, Skierniewice, v. 68, p. 57-70, 2008.

ARA, N.; BASHAR, M.K.; BEGUM, S.; KAKON, S.S. Effect of Spacing and Stem Pruning on the Growth and Yield of Tomato. **International Journal of Sustainable Crop Production**, Daca, v. 2, p. 35-39, 2007.

ARZANI, K.; BAHADORI, F.; PIRI, S. Paclobutrazol reduces vegetative growth and enhances flowering and fruiting of mature ‘J.H. Hale’ and ‘Red Skin’ peach trees. **Horticulture, Environment, and Biotechnology**, Jeolla do Norte, v. 50, p. 84-93, 2009.

BOURGET, C.M. An introduction to light-emitting diodes. **HortScience**, Alexandria, v. 43, p. 1944-1946, 2008.

BRAZAITYTĖ, A.; DUCHOVSKIS, P.; URBONAVIČIŪTĖ, A.; SAMUOLIENĖ, G.; JANKAUSKIENĖ, J.; KASIULEVIČIŪTĖ-BONAKĖRĖ, A.; BLIZNIKAS, Z.; NOVIČKOVAS, A.; BREIVĖ, K.; ŽUKAUSKAS, A. The effect of light-emitting diodes lighting on cucumber transplants and aftereffect on yield. **Zemdirbyste-Agriculture**, Kėdainiai, v. 96, p. 102-118, 2009.

BRAZAITYTĖ, A.; DUCHOVSKIS, P.; URBONAVIČIŪTĖ, A.; SAMUOLIENĖ, G.; JANKAUSKIENĖ, J.; SAKALAUSKAITĖ, J.; ŠABAJEVIENĖ, G.; SIRTAUTAS, R.; NOVIČKOVAS, A. The effect of light-emitting diodes lighting on the growth of tomato transplants. **Zemdirbyste-Agriculture**, Kėdainiai, v. 97, p. 89-98, 2010.

CEAGESP. Companhia de Entrepostos e Armazéns Gerais de São Paulo. **Cotações**: Preço no atacado. Disponível em: < http://www.ceagesp.gov.br/entrepostos/servicos/cotacoes >. Acesso em: 28 fev. 2016.

FAO. Faostat. **Production, Crop:** Tomato yield from 1980 to 2012. Disponível em: <http://fao.faostat.org>. Acesso em: 02 out. 2015.

FRANCO, J.L.; DIAZ, M.; DIANEZ, F.; CAMACHO, F. Influence of different types of pruning on cherry tomato fruit production and quality. **Food, Agriculture and Environment**, Helsinki, v. 7, p. 248-253, 2009.

GLOWACKA, B. Effect of light colour on the growth of tomato (*Lycopersicon esculentum Mill.*) transplant. **Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus**, Lublin, v. 1, p. 93-103, 2002.

GOMEZ, C.; MORROW, R.C.; BOURGET, C.M.; MASSA, G.D.; MITCHELL, C.A. Comparison of intracanopy light-emitting diode towers and overhead high-pressure sodium lamps for supplemental lighting of greenhouse-grown tomatoes. **HortTechnology**, Alexandria, v. 23, p. 93–98, 2013.

IBGE. Levantamento sistemático da produção agrícola (LSPA). **Pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil**, janeiro 2016. Disponível em:< http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 28 fev. 2016.

MARIM, B.G.; SILVA, D.J.H.; GUIMARÃES, M.A.; BELFORT, G. Sistemas de tutoramento e condução do tomateiro visando produção de frutos para consumo in natura. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 23, p. 951-955, 2005.

MASSA, G.D; KIM, H.H; WHEELER, R.M.; MITCHELL, C.A. Plant productivity in response to LED lighting. **HortScience**, Alexandria, v. 43, p. 1951-1956, 2008.

MELO, P.T.M.; MELO, A.M.T. Avanços e principais gargalos da cadeia brasileira de tomate de mesa. **Anuário HF**, Uberlândia, p.6-14, 2014.

MITCHELL, C.A.; BOTH, A.J.; BOURGET, C.M.; BURR, J.F.; KUBOTA, C.; LOPEZ, R.G.; MORROW, R.C.; RUNKLE, E.S. LEDs: the future of greenhouse lighting. **Chronica Horticulturae**, Lovaina, v. 52, p. 06-10, 2012.

MORROW, R.C. LED lighting in horticulture. **HortScience**, Alexandria, v.43, p. 1947-1950, 2008.

NAVARRETE, M.; JEANNEQUIN, B. Effect of frequency of axillary bud pruning on vegetative growth and fruit yield in greenhouse tomato crops. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 86, p. 197-210, 2000.

NUEZ, F. **El cultivo del tomate**. Madri: MundiPrensa Libros, Madrid, 2001. 793p.

OLLE, M.; VIRŠILĖ, A. The effects of light-emitting diode lighting on greenhouse plant growth and quality. **Agricultural and food science**, Helsínquia, v. 22, p. 223-234, 2013.

PINHO, P.; JOKINEN, K.; HALONEN, L. Horticultural lighting present and future challenges. **Lighting Research and Technology**, London, v. 44, p. 427-437, 2012.

SCHUERGER, A.C; BROWN, C.S; STRYJEWSKI, E.C. Anatomical features of pepper plants (*Capsicuum annuum L.*) grown under red light-emitting diodes supplemented with blue or far-red light. **Annals of Botany**, Oxford, v. 79, p. 273-282, 1997.

SEDIYAMA, M.A.N.; FONTES, P.C.R.; SILVA, D.J.H. Práticas culturais adequadas ao tomateiro. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.24, p.19-25, 2003.

SHIRAHIGE, F.H.; MELO, A.M.T.; PURQUERIO, L.F.V.; CARVALHO, C.R.L.; MELO, P.C.T. Produtividade e qualidade de tomates Santa Cruz e Italiano em função do raleio de frutos. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 28, p. 292-298, 2010.

TAMULAITIS, G.; DUCHOVSKIS, P.; BLIZNIKAS, Z.; BREIVE, K.; ULINSKAITE, R.; BRAZAITYTE, A.; NOVIČKOVAS, A.; ŽUKAUSKAS, A. Highpower light-emitting diode based facility for plant cultivation. **Journal of Physics. D:** Applied Physics, London, v. 38, p. 3182-3187, 2005.

TENNESSEN, D.J; BULA, R.J; SHARKEY, T.D. Efficiency of photosynthesis in continuous and pulsed light emitting diode irradiation. **Photosynthesis Research**, Berlim, v. 44, p. 261-269, 1995.

URBONAVIČIŪTĖ, A.; SAMUOLIENĖ, G.; BRAZAITYTĖ, A.; DUCHOVSKIS, P.; RUZGAS, V.; ŽUKAUSKAS, A. The effect of variety and lighting quality on wheatgrass antioxidant properties. **Zemdirbyste-Agriculture**, Kėdainiai, v. 96, p. 119-128, 2009.

VÄNNINEN, I.; PINTO, D.M.; NISSINEN, A.I.; JOHANSEN, N.S.; SHIPP, L. In the light of new greenhouse technologies: 1. Plantmediates effects of artificial lighting on arthropods and tritrophic interactions. **Annals of Applied Biology**, Warwick, v. 157, p. 393-414, 2010.

WHEELER, R.M. A historical background of plant lighting: an introduction to the workshop. **HortScience**, Alexandria, v. 43, p. 1942-1743, 2008.

WHEELER, R.M.; MACKOWIAK, C.L.; SAGER J.C. Soybean stem growth under high-pressure sodium with supplemental blue lighting. **Agronomy Journal**, Madison, v. 83, p. 903-906, 1991.

YEH, N.; CHUNG, J.P. High-brightness LEDs – energy efficient lighting sources ad their potential in indoor plant cultivation. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, London, v. 13, p. 2175-2180, 2009.

YORIO, N.C; GOINS, G.D; KAGIE, H.R; WHEELER, R.M. SAGER, J.C. Improving spinach, radish, and lettuce growth under red light-emitting diodes (LEDs) with blue light supplementation. **HortScience**, Alexandria, v. 36, p. 380-383, 2001.

ZAFALON, M. **Tomate ganha importância na agricultura**. Folha de São Paulo, São Paulo, 26 jun. 2014. Folha Vaivém. Disponível em: <http://www1.folha.uol.com.br/colunas/vaivem/2014/06/1476366-tomate-ganha-importanciana-agricultura.shtml>. Acesso em: 05 out. 2015.

3 SUPLEMENTAÇÃO LUMINOSA E SISTEMA DE CONDUÇÃO DO TOMATEIRO: EFEITOS SOBRE A PRODUTIVIDADE DE FRUTOS, MORFOLOGIA DA PLANTA E EFICIÊNCIA DO USO DE ÁGUA E NUTRIENTES

Resumo

O auto sombreamento das folhas localizadas nas porções inferiores no interior do dossel do tomateiro pode limitar a produtividade em cultivos tutorados. A produtividade pode ser aumentada por meio de manejos de condução adequados ou através da suplementação luminosa no interior do dossel, técnica conhecida como *interlighting*. O objetivo desse trabalho foi avaliar a interferência do manejo de condução de minitomate 'Sweet Grape' em diferentes números de hastes por planta (duas, três e quatro hastes) e suplementação luminosa com módulos de LED na produtividade, morfologia e eficiência no uso de água e nutrientes em ambiente protegido, nas condições climáticas do sudeste brasileiro. O experimento foi conduzido em ambiente protegido e distribuído em blocos ao acaso com quatro repetições. Os tomateiros foram cultivados em vasos contendo substrato a base de fibra de coco e a nutrição foi realizada através de solução nutritiva aplicada por gotejamento. Ao longo do experimento foi registrado através de hidrômetros o volume de água e solução nutritiva aplicada em cada tratamento. Os frutos colhidos foram classificados, contados e pesados para a obtenção massa e número de frutos grandes, médios, pequenos, comercial, não comercial e total. No final do experimento, foi determinado o comprimento de haste, número de cachos normais e bifurcados por hastes, diâmetro apical, mediano e basal de haste. A suplementação luminosa apresentou aumento no número e na massa de frutos grandes e médios, elevando a produtividade total em 12%. Plantas com duas e três hastes apresentaram os maiores acúmulos de massa total de frutos, porém plantas com três hastes tiveram maior massa de frutos não comerciais, o que reduziu a massa de frutos comerciais. A maior eficiência no uso de nutrientes e solução nutritiva foi alcançada com plantas cultivadas com duas hastes.

Palavras-chave: Minitomate; Manejo de condução; Iluminação artificial; LED

Abstract

The auto shading of leaves located in the lower part of tomato canopy can limit productivity of crops tutored. Productivity can be increased by a suitable management system or by light supplementation inside the canopy through a technique known as interlighting. The objective of this study was to evaluate the impacts of different numbers of stems per plant (two, three and four stems) and light supplementation with LED modules in productivity and morphology of cherry tomato cv. "Sweet Grape", as well as efficiency in the use of water and nutrients by this crop. The experiment was conducted in a greenhouse located in southeastern Brazil using a randomized block design with four replications. Tomato plants were grown in pots containing substrate the base of coconut fiber and nutrition was performed by nutrient solution applied dropwise. Throughout the experiment the volume of water and nutrient solution applied to each treatment was registered. The harvested fruits were sorted, counted and weighed to obtain mass and number of large fruit, medium, small, commercial, non-commercial and total. At the end of the experiment, it was determined the stem length, number of normal raceme and bisected by stem, apical diameter, median and basal stem. Light supplementation showed an increase in the number and mass of large and medium-sized

fruit, increasing overall productivity by 12%. Two- and three-stem plants presented the highest total mass accumulations of fruit, but three-stem plants had greater mass of non-commercial fruits, which reduced the weight of commercial fruits. The more efficient use of nutrients and nutrient solution was achieved by two-stem plants.

Keywords: Cherry tomato; Management system; Artificial lighting; LED

3.1 Introdução

Como fonte primária de energia, a luz é um dos fatores ambientais mais importantes para o desenvolvimento dos vegetais (NAOYA et al., 2008). Sua intensidade e qualidade são essenciais para o crescimento, morfogênese e outras respostas fisiológicas nas plantas (FUKUDA et al., 2008; LI; KUBOTA, 2009). Estas, de maneira geral, apresentam maior desenvolvimento quando recebem distribuição uniforme da radiação luminosa por toda sua área foliar. No entanto, em cultivos tutorados, a maior parte da luz é interceptada pelas folhas superiores, ocorrendo assim auto sombreamento, aumentando com a profundidade do dossel.

O auto sombreamento das folhas no interior do dossel pode limitar a produtividade de cultivos tutorados, principalmente em ambiente protegido, onde utiliza-se alta densidade de plantas como forma de maximizar a utilização da área e aumentar a produtividade. No entanto, o aumento na densidade, juntamente com a condução das plantas na vertical, muitas vezes resulta em intensa competição das plantas por luz.

O sistema de condução de plantas interfere na distribuição da radiação solar, nos tratos culturais, na competição intra e entre plantas, além de afetar a relação entre as partes vegetativas e reprodutivas (FRANCO et al., 2009). Modificações na quantidade de hastes por planta alteram a irradiância, principalmente no interior do dossel.

A iluminação suplementar é utilizada com o intuito de promover e aumentar a fotossíntese e consequentemente, o rendimento cultural, especialmente em época de reduzida luz natural (HOVI-PEKKANEN; NÄKKILÄ; TAHVONEN, 2006). No entanto, em culturas tutoradas mesmo em épocas que apresentam boa disponibilidade luminosa, a ocorrência de dias nublados pode reduzir a atividade fotossintética das folhas que se localizam na porção inferior do dossel devido à limitada penetração de luz (DUECK et al., 2006). Isso pode ocasionar suprimento de fotoassimilados inadequado, levando a grandes flutuações do rendimento produtivo durante todo o ciclo de cultivo (MARCELIS et al., 2004).

Estudos recentes com diversas hortaliças, entre elas o tomateiro, têm mostrado que a produtividade pode ser aumentada por meio de suplementação luminosa no interior do dossel,

técnica conhecida como *interlighting* (HOVI-PEKKANEN; TAHVONEN, 2008; PETTERSEN; TORRE; GISLEROD, 2010; DUECK et al., 2012; JOKINEN; SÄRKKÄ; NÄKKILÄ, 2012). Segundo Trouwborst et al. (2010), o potencial de aumentar o rendimento das culturas quando utiliza-se *interlighting* é baseada em três pressupostos: (1) aumento de absorção de luz pela cultura, (2) maior eficiência fotossintética devido distribuição de luz vertical mais homogênea, (3) capacidade fotossintética preservada nas folhas localizadas na porção inferior do dossel.

A absorção percentual de luz azul e vermelha pelas folhas das plantas é de aproximadamente 90%, o que mostra a forte influência desses dois espectros luminosos sobre o desenvolvimento e a fisiologia das plantas (TERASHIMA et al., 2009). A combinação de luz vermelha e azul é cada vez mais utilizada em pesquisa, porque estes são os espectros mais eficazes para o processo fotossintético, sendo que a ausência de uma dessas duas bandas resulta em ineficiências fotossintéticas (HOGEWONING et al., 2010). Pesquisas recentes revelam aumento significativamente da capacidade fotossintética e biomassa vegetal em tomateiro utilizando a combinação de luz vermelha e azul (LIU et al. 2011, DUECK et al. 2012, SAMUOLIENĖ et al. 2012; FAN et al., 2013).

Desta forma, testou-se a hipótese de que a suplementação luminosa com módulos de LED nessas duas faixas do espectro luminoso promove incremento de produtividade na cultura do tomateiro. E que a sua produtividade, assim com sua eficiência no uso de água e nutrientes pode ser alterado com o manejo no número de hastes por planta.

Em vista disso, o objetivo desse trabalho foi avaliar a influência da suplementação luminosa pelo uso de módulos de LED e do sistema de condução de minitomate na produtividade e eficiência do uso de água e nutrientes em ambiente protegido nas condições climáticas do sudeste brasileiro.

3.2 Material e métodos

O experimento foi conduzido no período de março a dezembro de 2014 em ambiente protegido, localizado na área experimental do Departamento de Produção Vegetal, pertencente à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP, município de Piracicaba (SP). O clima é do tipo Cwa, ou seja, subtropical úmido com três meses mais secos (junho, julho e agosto), chuvas de verão, seca no inverno, temperatura do mês mais quente superior a 22°C e a do mês mais frio inferior a 18°C (CPTEC, 2010).

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com quatro repetições, no esquema fatorial 2 x 3, sendo dois ambientes de cultivo, com e sem suplementação luminosa e três sistemas de condução, plantas com duas, três e quatro hastes (Figura 1).

O ambiente protegido onde foi conduzido o experimento é do tipo arco com dois módulos de 6,4 m de largura, 28 m de comprimento, 3,4 m de altura do pé direito, com o telhado e laterais cobertos com filme duplo de polietileno aditivado com 150 µm de espessura e sistema de resfriamento evaporativo Pad&Fan. O sistema evaporativo foi acionado automaticamente, sempre que a temperatura no interior da estufa ultrapassava 25ºC.

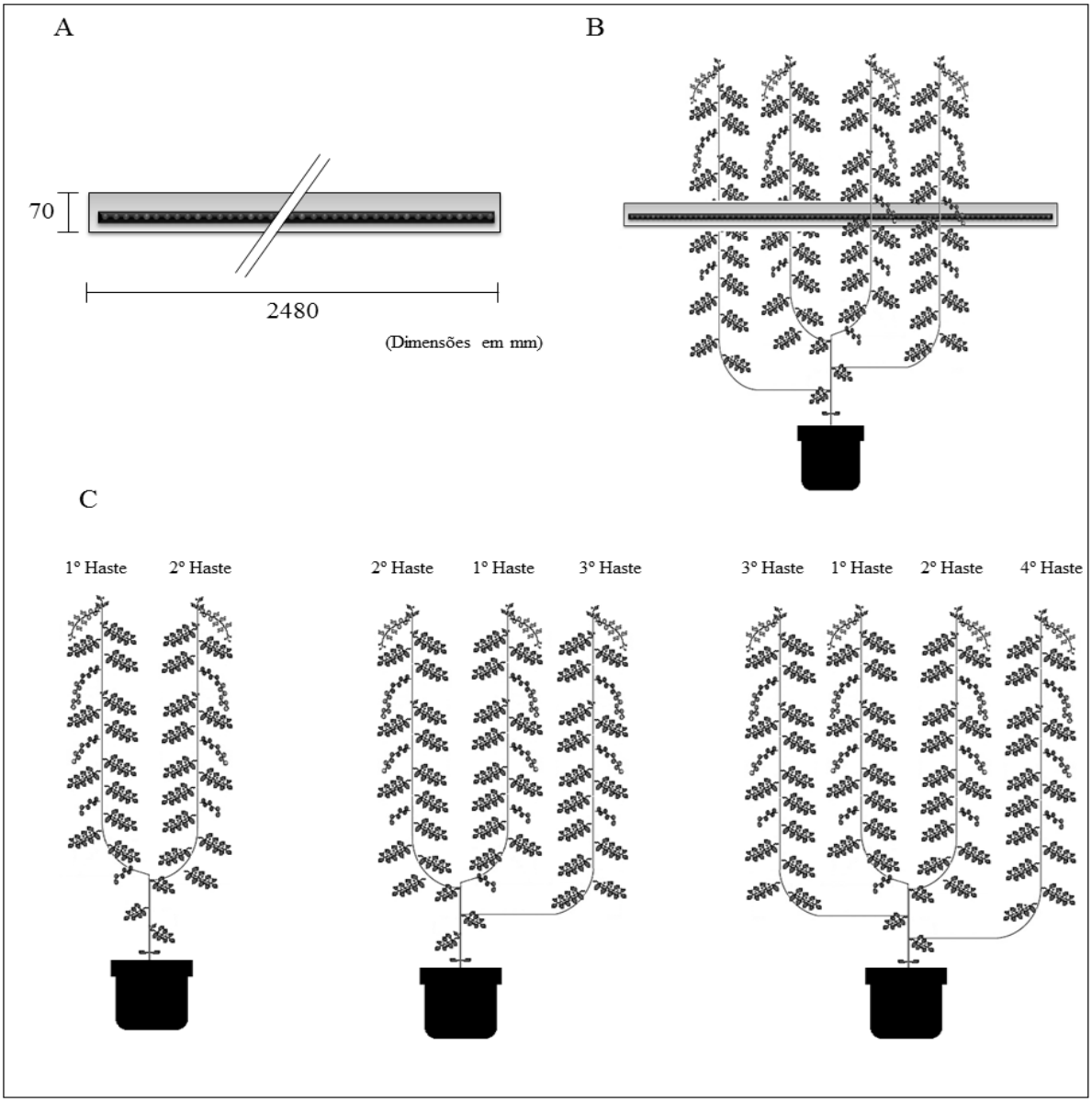


Figura 1 - Detalhe da barra de LED (A), do posicionamento destas no interior do dossel do tomateiro (B) e dos sistemas de condução de planta, com duas, três e quatro hastes (C)

A suplementação luminosa foi realizada através de módulos de LED (*GreenPower LED interlighting*, Phillips®*)* de 2,47 metros de comprimento, posicionados na horizontal a 1,5 metros do solo. Os módulos são compostos por LEDs nas cores vermelho (~660nm) e azul (~450nm), na proporção 4/1, respectivamente. O fluxo de fótons dos módulos é de 220 µmol/s e o consumo de energia de 105 W (PHILLIPS, 2015).

A suplementação luminosa foi realizada a partir do dia 25 de junho de 2014 aos 60 dias após o transplante e permaneceu até o final do ciclo, somando 180 dias de suplementação luminosa. O acionamento dos módulos foi realizado de forma intermitente, automaticamente, em dois períodos do dia. O primeiro período iniciava 30 minutos antes do amanhecer, permanecendo ligado por 4 horas, o segundo no período da tarde permanecendo ligado por mais 4 horas, desligando 30 minutos após o pôr do sol. O momento de acionamento das barras foi ajustado semanalmente de acordo com a variação no comprimento do dia. Este manejo da iluminação foi realizado, para que a suplementação luminosa ocorresse nos períodos do dia onde a intensidade luminosa natural era menor.

No interior do ambiente protegido, através de uma mini estação meteorológica (Spectrum, WachtDog 2475 Plant Grow Station) foram registrados, a cada 30 minutos, temperatura, umidade relativa do ar em sensores posicionados a 1,5 m de altura e radiação fotossinteticamente ativa em duas posições, a 1,5m (altura das barras de LED) e a 3,0m (acima do dossel de plantas) (Figura 2).

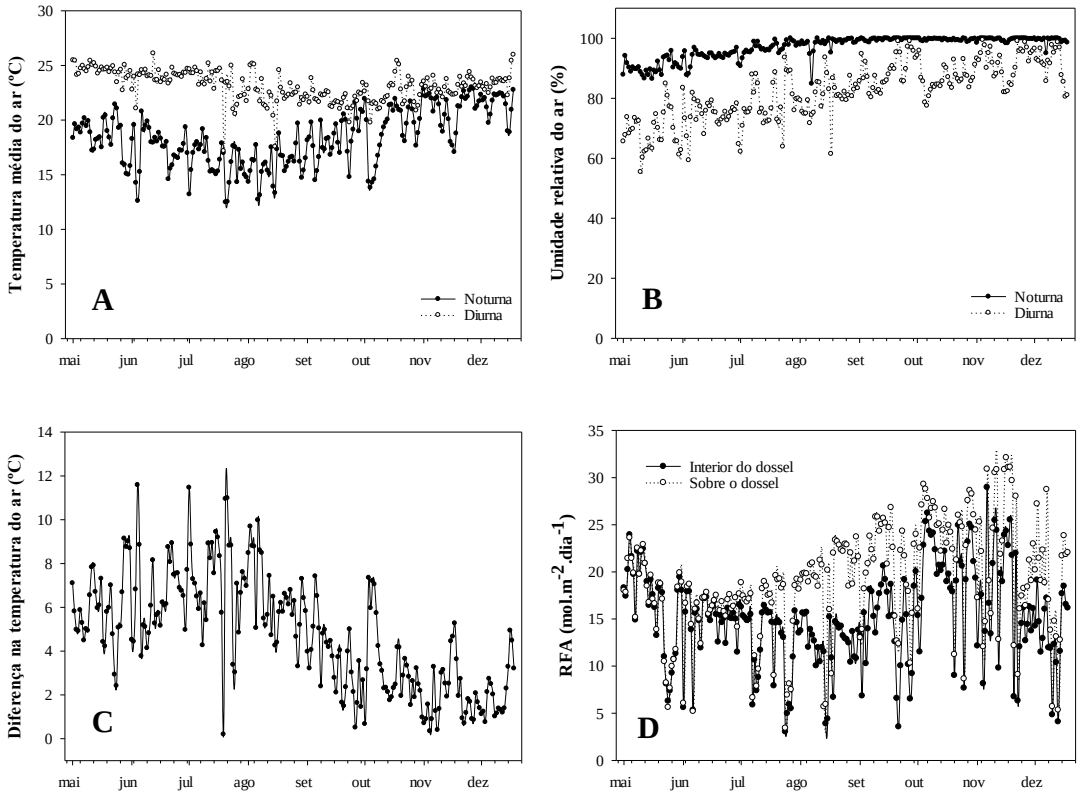


Figura 2 - Temperatura média do ar (A), umidade relativa do ar média diária (B), diferença entre a temperatura média do ar diária diurna e noturna e radiação fotossinteticamente ativa (RFA) sobre o dossel (3 metros) e no interior do dossel (1,5 metros) ao longo do período experimental. Registros diurnos ocorreram das 7:00h às 19:00h e noturno das 19:00h às 7:00h

As mudas foram produzidas por uma empresa especializada (Celeiro Verde - Mogi Guaçu/SP), em bandejas de polipropileno de 200 células preenchidas com substrato à base de fibra de coco. A semeadura ocorreu no dia 28 de março e após 29 dias foram transplantadas para vasos de 8 litros, uma planta por vaso, preenchidos com o substrato comercial de fibra de coco (Golden Mix Amafibra).

Aos 20 dias após o transplante (DAT), quando as plantas já apresentavam o primeiro cacho floral, foi realizada a poda de formação das hastes em três diferentes manejos de condução. Para plantas com duas hastes, foram eliminadas as brotações axilares, deixado apenas à haste principal e a brotação originada da axila foliar imediatamente abaixo do primeiro cacho floral. Para plantas com três e quatro hastes, além destas duas, foi deixada uma e duas brotações desenvolvidas nas axilas foliares das duas primeiras folhas verdadeiras, respectivamente.

As hastes das plantas foram conduzidas de forma contínua no sentido vertical através de fitilhos plásticos amarrados em arames posicionados paralelamente a linha de cultivo a 3,0 m de altura do solo, sendo esta a altura de condução. O manejo de condução utilizado foi através do sistema denominado de Deslocado ou Carrossel, onde a posição das hastes do tomateiro na linha de cultivo altera-se conforme seu crescimento, mantendo-se a mesma densidade por área.

Os tomateiros foram cultivados em vasos distribuídos em linhas simples espaçadas 2,2 m entre si. O espaçamento entre vasos foi definido em função do número de hastes por planta, porem mantendo-se sempre a densidades de 4,5 hastes m^{-2}. Assim, o espaçamento entre os vasos para os sistemas de condução com duas, três e quatro hastes foi de 0,20; 0,30 e 0,4 m, resultando em uma densidade de plantas de 2,27; 1,51 e 1,14 plantas m^{-2}, respectivamente. O número de plantas por parcela foi de 12, 8 e 6 para os sistemas de condução com 2, 3 e 4 hastes, respectivamente, o que resultou em 24 hastes em cada parcela.

Diariamente, às 9:00h era realizada polinização das plantas através da vibração do arame de condução. Semanalmente, foi realizada a retirada das brotações laterais e das folhas inferiores. Na sequência, procedeu-se a pulverização com fungicida à base de cobre e/ou outros defensivos quando necessário.

Cada tratamento possuía seu sistema de irrigação independente, composto por tanque de armazenamento de solução nutritiva e sistema de suprimento da solução às plantas, formado por moto bombas e gotejadores autocompensantes com vazão de 2,5 L h^{-1}, ramificado em duas lanças de gotejo para cada vaso, além de recipientes de coleta da solução drenada.

O sistema de irrigação foi controlado individualmente para cada tratamento através do sistema gasoso de controle de irrigação (Irrigas®), composto por seis sensores por tratamento, sendo a tensão limite para início das irrigações de -4 kPa (MAROUELLI; SILVA, 2008). A duração dos pulsos de irrigação foi ajustada para que o substrato alcançasse a máxima capacidade de retenção de água, ocorrendo uma drenagem média de 15% do volume total irrigado, sendo este tempo ajustado semanalmente.

Sempre que a condutividade elétrica da solução de drenagem ultrapassava 5,0 dS m^{-1} era realizada lavagem do substrato através de aplicação de 3 litros de água por vaso, com o objetivo de reduzir a condutividade elétrica da solução do meio radicular para valores semelhantes aos das soluções nutritivas de entrada no sistema.

Após a instalação do sistema de irrigação, foi avaliada a uniformidade do sistema de irrigação por gotejo através do coeficiente de uniformidade de emissão (CUE) na forma

proposta por Keller e Karmeli (1975). Para isso, foi coletada a vazão de todos os emissores, localizados ao longo das linhas de irrigação do experimento, durante um período de 10 minutos. Com os valores coletados da vazão de todos emissores, foi possível identificar possíveis problemas no sistema de irrigação e determinar o CUE, que foi de 93,77% classificado como excelente segunda a metodologia proposta por Merrian e Keller (1978).

A solução nutritiva utilizada foi a proposta por Campagnol (2015), específica para o cultivo do minitomate 'Sweet Grape' (Tabela 1). Esta foi mantida com condutividade elétrica de aproximadamente 1,95 dS m^{-1}.

Tabela 1 - Soluções nutritivas para o cultivo de tomate 'Sweet Grape'

Característica	CE	pH	N	P	K	Ca	Mg	S
	(dS m^{-1})				(mg L^{-1})			
Fase vegetativa*	1,93	6,23	98,08	50,18	199,93	98,09	31,54	75,18
Fase reprodutiva	1,99	6,31	121,01	50,18	317,00	123,54	40,47	132,00

*A fase vegetativa corresponde ao período que vai do transplante das mudas ao início da maturação dos frutos do primeiro cacho. A fase produtiva compreende o período entre o início da maturação dos frutos do primeiro cacho até a última colheita. Em ambos as fases as quantidades de micronutrientes foram: 1,31 mg L^{-1} B, 0,46 mg L^{-1} Cu, 2, 01 mg L^{-1} Fe, 0,46 mg L^{-1} Mn, 0,09 mg L^{-1} Mo, 0,18 mg L^{-1} Zn e 0,09 mg L^{-1} Ni.

O hibrido de minitomate utilizado foi o 'Sweet Grape' desenvolvido pela empresa Sakata Seed Sudamerica e caracterizado por apresentar crescimento indeterminado, frutos pequenos e alongados com formato semelhante a uma uva, coloração vermelho intenso, peso entre 5 e 20 gramas e alto teor de açúcares.

A colheita dos frutos foi iniciada aos 60 DAT e finalizada aos 240 DAT, num total de 26 colheitas (estas foram agrupadas em duas a duas para melhor compreensão dos resultados, totalizando 13 avaliações). Foram colhidos somente os frutos maduros, quando apresentavam coloração vermelha homogênea, classes 1, 2 e 3 conforme ilustrado na Figura 3.

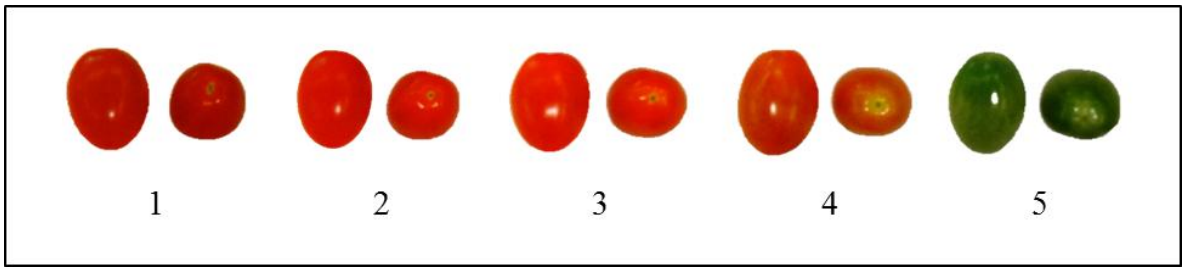


Figura 3 - Classificação dos frutos de minitomate cultivar 'Sweet Grape', separados em diferentes estágios de maturação

Semanalmente, dos 60 aos 240 DAT, os frutos de cada parcela foram colhidos em caixas plásticas, levados ao laboratório e classificados em pequenos, médios, grandes e não

comerciais. Posteriormente foram contabilizados e pesados, sendo a produção total definida pela somatória dos pesos de cada categoria de frutos. Para isso, os frutos foram colocados sobre duas malhas com diâmetros de 1,8 e 2,5 cm. Dessa forma, os frutos que não passaram pela malha de 2,5 cm foram classificados como grandes, aqueles que passaram pela malha de 2,5 cm e ficaram retidos na malha de 1,8 cm foram considerados médios e os que passaram pelas duas malhas foram classificados como pequenos (Figura 4).

Os frutos que apresentavam rachaduras e/ou sintomas de doenças e ataque de pragas foram contabilizados e pesados separadamente, considerados como não comerciais. Assim, a produtividade comercial foi composta pela diferença entre a produção total de frutos menos a produção de frutos não comerciais.

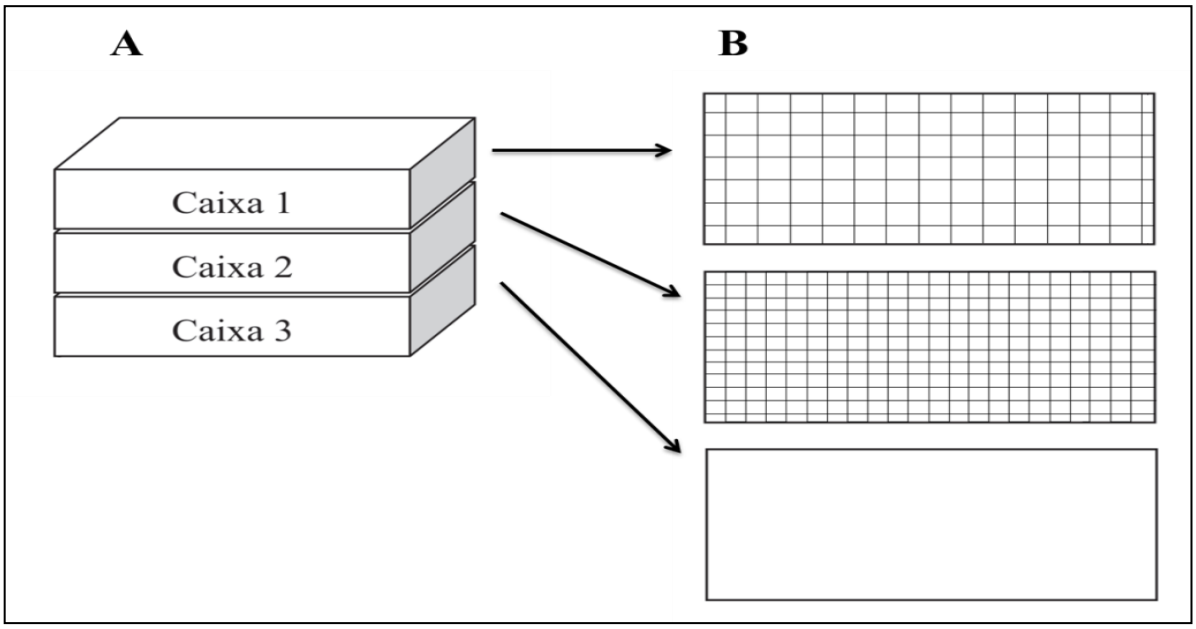


Figura 4 - Esquema representativo das caixas utilizadas para a classificação de minitomate em diferentes classes de tamanho. A) conjunto das três caixas sobrepostas; B) caixas individuais com detalhes da distribuição dos orifícios nas bases

Para avaliação da eficiência do uso da água e de nutrientes, foram instalados em cada sistema de irrigação um hidrômetro magnético, com a finalidade de registrar o volume de água e solução nutritiva aplicada em cada parcela experimental. O registro do volume foi realizado semanalmente e a eficiência do uso da água foi calculada pela razão entre a produtividade total de frutos por área ($g.m^{-2}$) e a quantidade de água aplicada nesta área, expressa em litros (L) (Equação 1).

Eficiência do uso de água (EF) = Prod / Vol (1)

Em que,
EF= Eficiência do uso de água (g de frutos frescos produzido. L^{-1} aplicado);
Prod= Produtividade ($g.m^{-2}$);
Vol= Volume de solução nutritiva aplicado ($L.m^{-2}$)

Da mesma forma, através do volume de solução nutritiva aplicado em cada tratamento calculou-se a eficiência da utilização de macro e micronutrientes, expresso em miligrama de nutriente por grama de fruto fresco produzido (Equação 2).

Eficiência do uso nutrientes (EN)= Nutri / Prod (2)

Em que,
EN= Eficiência do uso de nutrientes (mg de nutriente.fruto fresco produzido em g^{-1});
Prod= Produtividade ($g.m^{-2}$);
Nutri= Quantidade de nutriente aplicado ($mg.m^{-2}$)

Ao final do experimento, através de 16 hastes retiradas aleatoriamente de cada tratamento, foi avaliado o comprimento das hastes, número de cachos por haste, número de cachos bifurcados por haste, diâmetro apical, mediano e basal das hastes.

Os dados foram submetidos a analise de variância ANOVA ($p<0.05$). Quando significativo, as médias foram comparadas utilizando o teste de Tukey ($p<0.05$). Todos os procedimentos estatísticos foram realizados usando o programa computacional *Statistical Analysis System* – SAS v.9.3 (SAS Inc., Cary, USA).

3.3 Resultados e discussão

Não houve interação entre suplementação luminosa e sistema de condução para todas as características produtivas analisadas (Tabela 2). A suplementação luminosa influenciou a massa de frutos grandes (MFG), massa de frutos médios (MFM), massa de frutos comerciais (MFC), massa de frutos não comerciais (MFNC), massa total de frutos (MTF), número de frutos grandes (NFG), número de frutos médios (NFM), número de frutos comerciais (NFC) e número de frutos não comerciais (NFNC). O sistema de condução influenciou a MFG, MFM,

MFC, MFNC, MTF, NFG, NFM, NFC e NFNC. A massa de frutos pequenos (MFP) e número de frutos pequenos (NFP) não foram influenciados pelos fatores estudados.

Tabela 2 - Valor de F para as características massa de frutos grandes (MFG), massa de frutos médios (MFM), massa de frutos pequenos (MFP), massa de frutos comerciais (MFC), massa de frutos não comerciais (MFNC) e massa total de frutos (MTF), número de frutos grandes (NFG), número de frutos médios (NFM), número de frutos pequenos (NFP), número de frutos comerciais (NFC) e número de frutos não comerciais (NFNC) em frutos frescos de minitomate em função da suplementação luminosa com (L) e sistemas de condução de plantas (H)

Fator	**MFG**		**MFM**		**MFP**		**MFC**		**MFNC**		**MTF**	
Suplementação Luminosa (L)	19,73	*	99,22	*	2,35	ns	87,51	*	78,81	*	41,73	*
Sistema de condução (H)	11,12	*	9,19	**	3,68	ns	15,9	*	9,98	*	21,35	*
L X H	1,99	ns	0,12	ns	0,06	ns	0,64	ns	3,34	ns	1,49	ns
CV%	17,01		3,71		14,06		4,12		10,27		3,58	
Média geral	1413,5		12274,6		2045,9		15734,1		2116,9		17851,3	
Fator	**NFG**		**NFM**		**NFP**		**NFC**		**NFNC**			
Suplementação Luminosa (L)	21,6	*	77,69	*	2,65	ns	44,88	*	62,98	*		
Sistema de condução (H)	11,48	*	4,4	*	4,41	ns	8,49	*	12,99	*		
L X H	1,89	ns	0,06	ns	0,01	ns	0,07	ns	2,47	ns		
CV%	16,33		4,61		15,16		5,72		10,59			
Média geral	111,3		1447,3		553,1		2111,8		276,3			

ns = não significativo pelo teste F a 5%; * = significativo a 5%; ** = significativo a 1%.

A massa de frutos grandes (MFG) e massa de frutos médios (MFM) foram estatisticamente maiores (1631,59 e 13201,33 g/m²) nas plantas cultivadas com suplementação luminosa (Tabela 3). Estas apresentaram 2473,04 g/m² a mais de frutos comerciais que plantas cultivadas sem suplementação luminosa, o que representou um aumento de 17,06% na produção comercial. Para MTF, as plantas cultivadas com suplementação luminosa igualmente apresentou maior valor (18693,91 g/m²), 9,91% superior em relação aquelas sem suplementação luminosa. A diferença apresentada entre a MFC e MTF foi devido a MFNC que foi superior nas plantas cultivadas sem a suplementação luminosa (2510,93g/m²), valor 45,75% maior do que nas plantas cultivadas com suplementação de luz (Figura 5).

De forma semelhante, Gunnlaugsson e Adalsteinsson (2006) avaliando o efeito da suplementação luminosa no interior do dossel, observaram que tomateiros que receberam maior intensidade de luz artificial no interior do dossel aumentaram a produção total de frutos. A intensidade luminosa é um fator fundamental para a translocação de fotoassimilados nas plantas (NISHIZAWA; SHISHIDO; MURAKAMI, 2013; WANG et al., 2014). Segundo Fan

et al. (2013), geralmente, aumento da intensidade luminosa está relacionada a aumentos na taxa fotossintética em tomate. A suplementação luminosa moderada aumenta a capacidade das plantas em fazer fotossíntese, o que resulta em maior produção de fotoassimilados direcionados aos frutos.

Tabela 3 - Massa de frutos grandes (MFG), massa de frutos médios (MFM), massa de frutos pequenos (MFP), massa de frutos comerciais (MFC), massa de frutos não comerciais (MFNC) e massa total de frutos (MTF) em minitomate cv. Sweet Grape cultivado com e sem suplementação luminosa e em diferentes sistemas de condução de plantas (2H = duas hastes, 3H = três hastes, 4H = quatro hastes)

FV		MFG	MFM	MFP	MFC	MFNC	MTF
		g/m²					
Suplementação Luminosa (L)	**LED**	1631,59 a	13201,33 a	2136,11 a	16970,65 a	1722,85 b	18693,91 a
	S/LED	1195,43 b	11347,93 b	1955,89 a	14497,61 b	2510,93 a	17008,7 b
Sistema de condução (H)	**2H**	1685,43 a	12801,74 a	2119,09 a	16606,09 a	2074,41 b	18682,83 a
	3H	1435,5 a	12185 b	2194,11 a	15811,52 a	2378,24 a	18191,52 a
	4H	1119,59 b	11837,39 b	1824,8 a	14784,78 b	1898,02 b	16679,57 b
CV%		17,01	3,71	14,06	4,12	10,27	3,58

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

O aumento do número de hastes reduziu a MFG, MFM, MFC, MFNC e MTF. Para a MFG, MFC e MTF, as plantas cultivadas com duas e três hastes não diferiram estatisticamente entre si (Tabela 3). Plantas cultivadas com três hastes apresentaram maior MFNC em relação aos demais sistemas de condução. Diferentemente do encontrado neste trabalho, Ara et al. (2007) não verificaram diferenças na MFNC das plantas cultivadas com três hastes em comparação aos demais sistemas de condução, contudo obtiveram maior MFC em plantas cultivadas com duas hastes em relação aos outros tratamentos. As MFG, MFM, MFC e MTF foram respectivamente 50,54; 8,14; 12,32 e 12,01% superior nas plantas cultivadas com duas hastes em comparação às plantas com quatro hastes (Figura 6).

O sistema de condução do tomateiro, realizado através da poda de hastes é realizado com o intuito de permitir e melhorar a penetração de luz no dossel de plantas, favorecendo o crescimento vegetativo (PREECE; READ, 2005). Este tem relação direta com aumento da área foliar, matéria seca e diâmetro do caule, no entanto, tem correlação negativa com o rendimento de frutos (NAVARRETE; JEANNEQUIN; SEBILLOTTE, 1997; GODA et al., 2014). Assim, o equilíbrio adequado entre crescimento vegetativo e reprodutivo pode melhorar o rendimento e qualidade dos frutos (ARZANI; BAHADORI; PIRI, 2009).

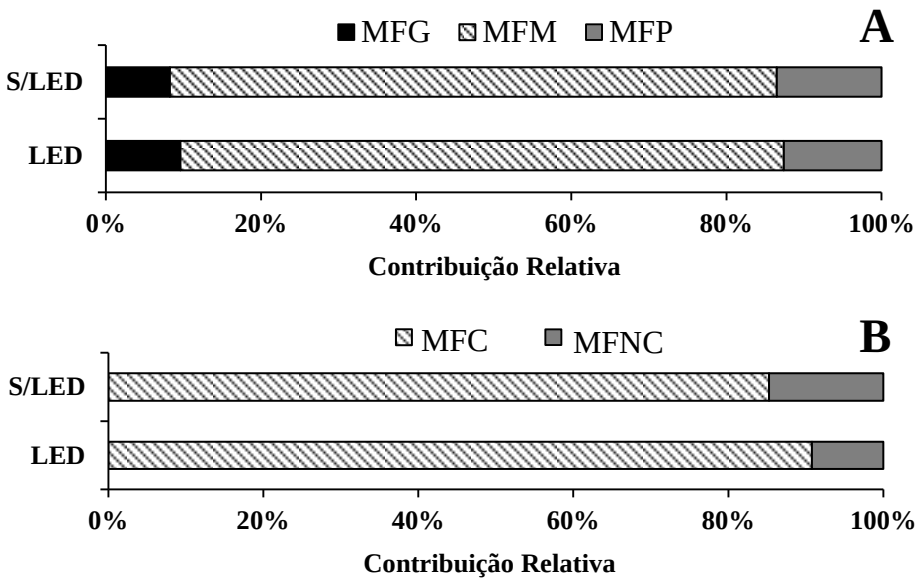


Figura 5 - Contribuição relativa de massa de frutos grandes (MFG), massa de frutos médios (MFM) e massa de frutos pequenos (MFP) (A). Massa total de frutos comerciais (MFC) e massa total de frutos não comerciais (MFNC) (B) em minitomate cv. Sweet Grape cultivado com e sem suplementação luminosa

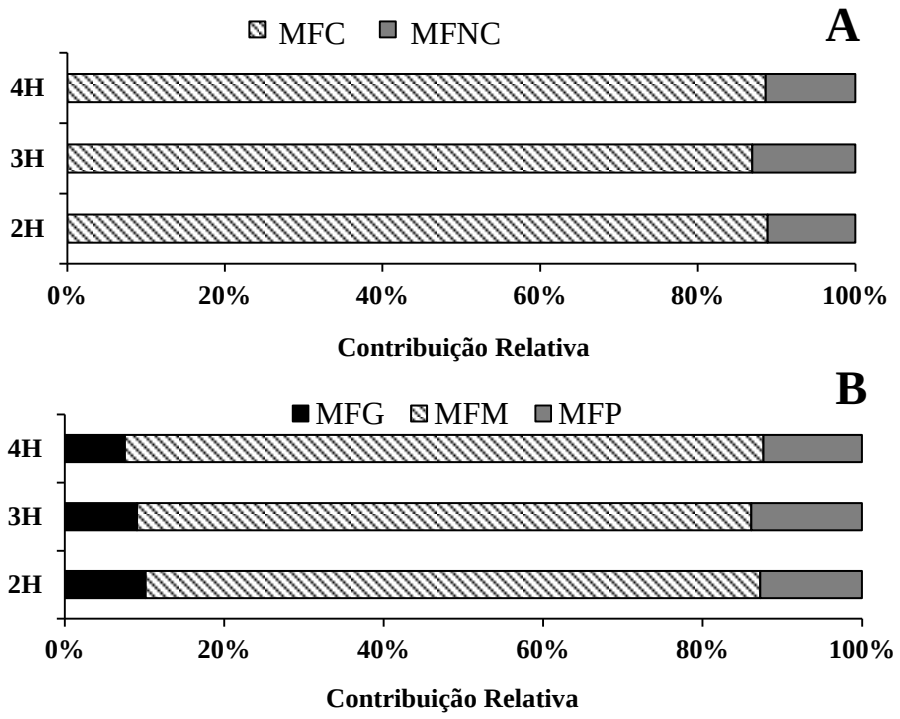


Figura 6 - Contribuição relativa para massa de frutos comerciais (MFC) e massa de frutos não comerciais (MFNC) (A). Massa de frutos grandes (MFG), massa de frutos médios (MFM) e massa de frutos pequenos (MFP) (B) em minitomate cv. Sweet Grape cultivado com diferentes sistemas de condução de plantas (2H = duas hastes, 3H = três hastes, 4H = quatro hastes)

O número de frutos nas diferentes classes apresentou comportamento semelhante à massa de frutos por classe (Tabela 4). Plantas suplementadas com luz apresentaram maior NFG, NFM e NFC. Sendo que o NFNC foi superior nas plantas sem suplementação luminosa. A produtividade do tomateiro é determinada pelo número de frutos por planta e sua massa individual (BERTIN; GENARD; FISHMAN, 2003; HO; HEWITT, 1986).

Plantas cultivadas com quatro hastes apresentaram menor NFG, NFM, NFC e NFNC em relação dos demais tratamentos. Plantas cultivadas com três hastes apresentaram maior NFNC e não diferiram estatisticamente de plantas com quatro hastes para NFM. MOURÃO et al. (2014) avaliando números de hastes em tomates enxertados, também observaram maior número de frutos em plantas cultivadas com duas hastes comparado aos demais tratamentos, porem estes autores não encontraram diferenças no número de frutos nas plantas cultivadas com três e quatro hastes. Os resultados deste trabalho corrobora com os encontrados por Ara et al. (2007), que observaram aumento no NFNC em plantas cultivadas com três hastes.

Tabela 4 - Número de frutos grandes (NFG), número de frutos médios (NFM), número de frutos pequenos (NFP), número de frutos comerciais (NFC) e número de frutos não comerciais (NFNC) em minitomate cv. Sweet Grape cultivado com e sem suplementação luminosa e diferentes sistemas de condução de plantas (2H = duas hastes, 3H = três hastes, 4H = quatro hastes)

FV		NFG	NFM	NFP	NFC	NFNC
		Frutos/m²				
Suplementação Luminosa (L)	**LED**	128,57 a	1567,41 a	580,93 a	2277 a	228,9 b
	S/LED	94,08 b	1327,24 b	525,22 a	1946,59 b	323,7 a
Sistema de condução (H)	**2H**	132,2 a	1497,26 a	574,04 a	2203,5 a	270,41 b
	3H	113,02 a	1446,5 ab	602,17 a	2161,74 a	316,17 a
	4H	88,75 b	1398,22 b	483,02 a	1970,13 b	242,31 b
CV%		16,33	4,61	15,16	5,72	10,59

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

No início do ciclo produtivo não houve diferença significativa para MTF entre as plantas cultivadas com e sem suplementação luminosa. A diferença entre estes tratamentos ocorreu somente a partir dos 195 DAT, tanto para a produção temporal (quinzenal) como para a produção acumulada ao longo do ciclo (Figura 7). Comportamento distinto ocorreu para MFC, no qual tais diferenças significativas ocorreram a partir dos 135 DAT.

Para MFNC tais diferenças ocorreram antes, a partir dos 120 DAT, apresentando um pico de produção de frutos não comerciais aos 150 DAT. Este aumento no meio do ciclo foi para ambos os tratamentos luminosos, porém com mais intensidade para plantas sem suplementação luminosa. Após este aumento, a MFNC foi reduzindo até o final do ciclo

produtivo. Aos 210 DAT, não houve diferença significativa entre os tratamentos para a produção temporal, porém esta diferença manteve-se constante para a produção acumulada.

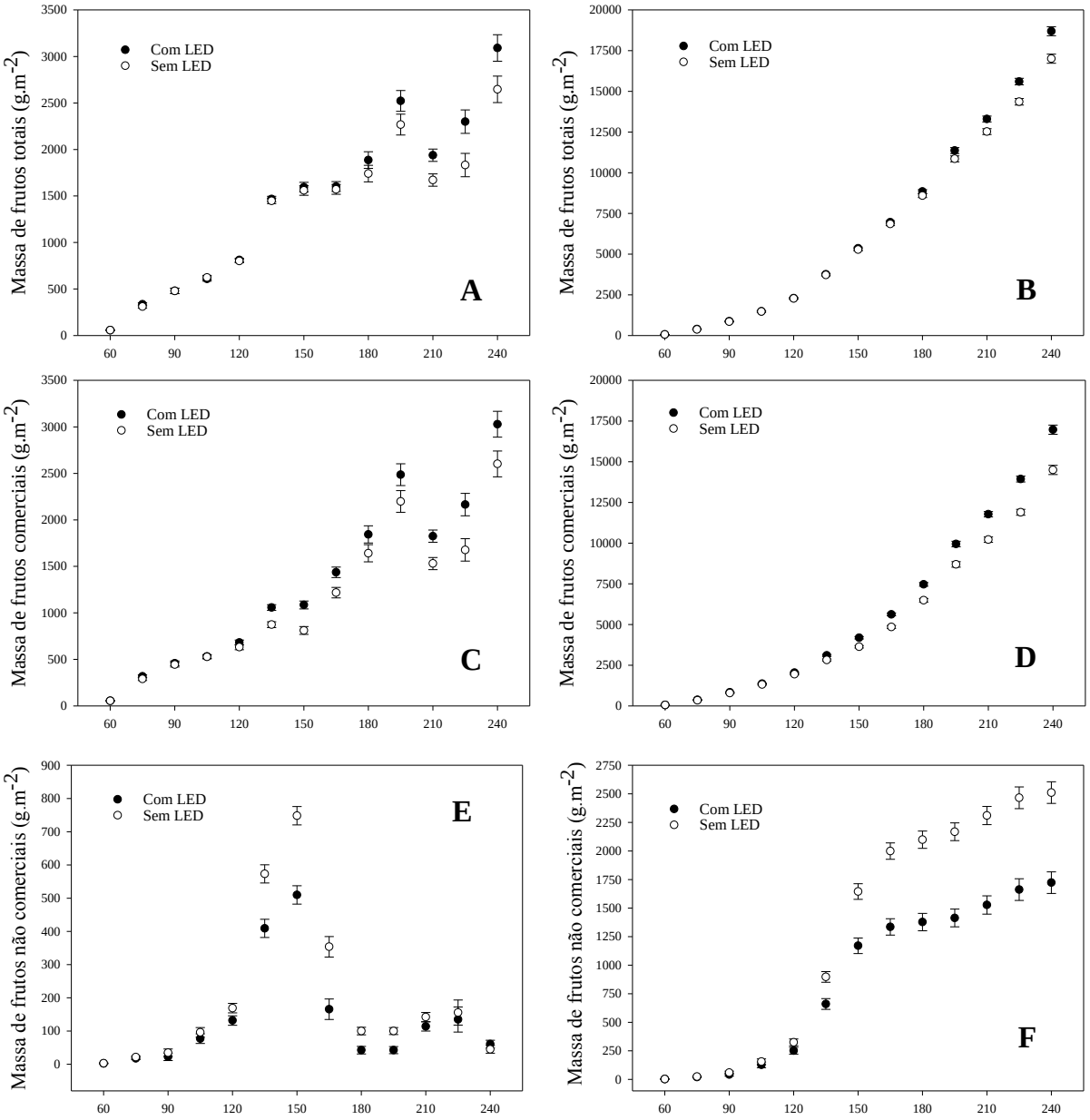


Figura 7 - Massa total de frutos por quinzena (A) e acumulado (B), massa de frutos comerciais por quinzena (C) e acumulado (D) e massa de frutos não comerciais por quinzena (E) e acumulado (F) ao longo do ciclo de minitomate cv. Sweet Grape cultivado com e sem suplementação luminosa

Para os diferentes sistemas de condução do tomateiro houve diferença significativa para MTF desde a primeira colheita, realizada aos 60 DAT (Figura 8). Para a produção temporal, tais diferenças se mantiveram até 180 DAT, a partir desta data só houve diferença entre os tratamentos na última avaliação realizada aos 240 DAT, embora para MTF

acumulada ao longo do ciclo as diferenças se mantiveram até o final ciclo. Para MFC o comportamento foi semelhante à MTF.

Para MFNC o comportamento foi distinto, pois ocorreu diferença entre os tratamentos a partir de 105 DAT, apresentando um pico aos 150 DAT. Este aumento no meio do ciclo produtivo ocorreu em todos os sistemas de condução. Após este pico, a MFNC foi reduzindo, assim como a diferença entre os tratamentos até o final do ciclo.

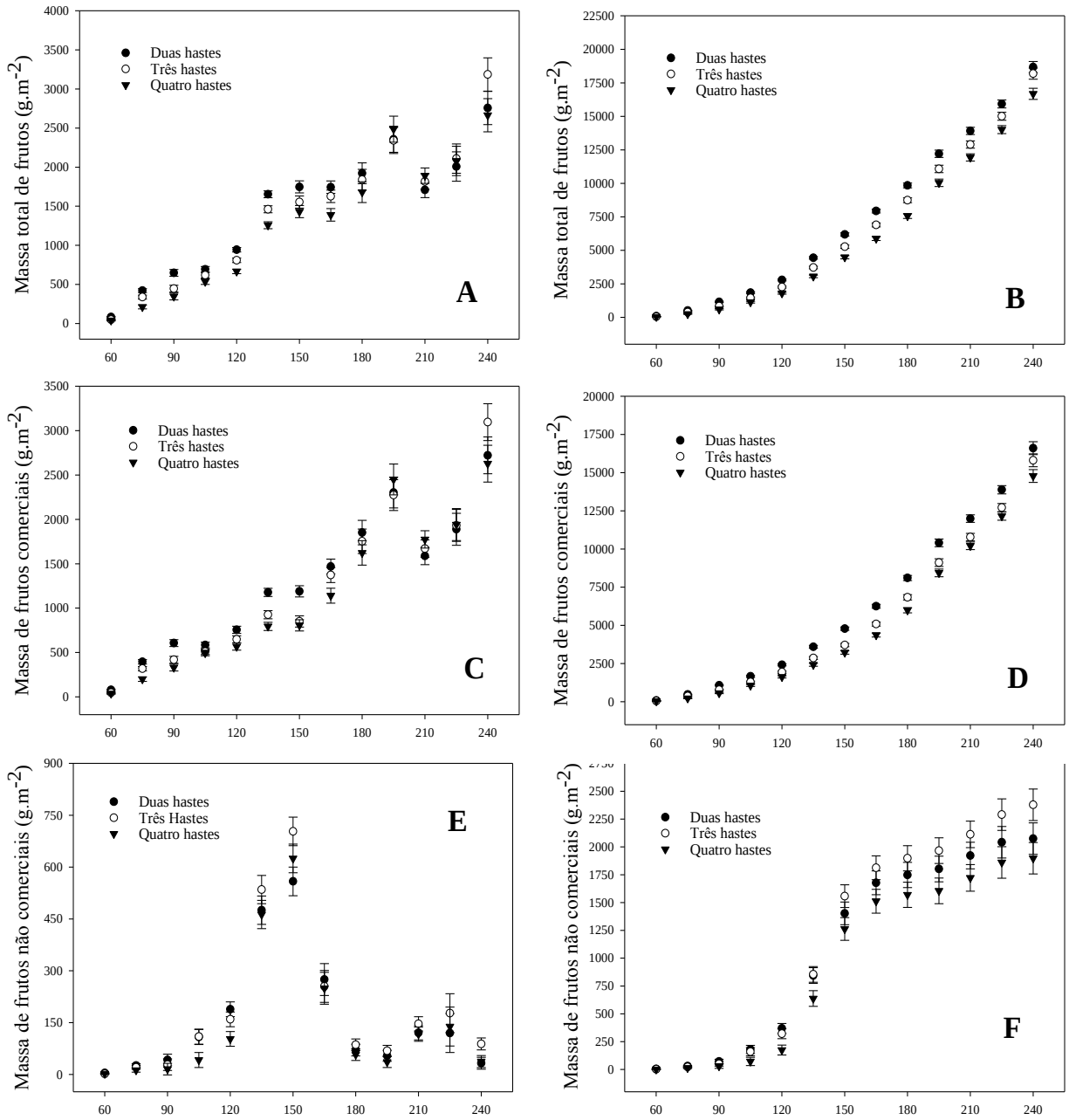


Figura 8 - Massa total de frutos por quinzena (A) e acumulado (B), massa de frutos comerciais por quinzena (C) e acumulado (D) e massa de frutos não comerciais por quinzena (E) e acumulado (F) ao longo do ciclo de minitomate cv. Sweet Grape cultivado com diferentes sistemas de condução de plantas

Em relação às características morfológicas das plantas, não houve interação entre suplementação luminosa e sistema de condução das plantas para todas as características analisadas. A suplementação luminosa influenciou o comprimento de haste (COMP), o número de cachos bifurcados por haste (NCB) e o diâmetro basal da haste (DH3). O sistema de condução das plantas influenciou o comprimento de haste (COMP), o número de cachos por haste (NC) e o diâmetro mediano da haste (DH2). O DH3 não foi influenciado pelo sistema de condução das plantas, assim como o DH2 não foi influenciado pela suplementação luminosa. O diâmetro apical da haste (DH1) não foi influenciado por ambos os fatores estudados (Tabela 5).

Tabela 5 - Valores de F para as características **c**omprimento de haste (COMP), número de cachos por hastes (NC), número de cachos bifurcados por hastes (NCB), diâmetro apical da haste (DH1), diâmetro mediano da haste (DH2) e diâmetro basal de haste (DH3) em plantas de minitomate cv. Sweet Grape cultivado com e sem suplementação luminosa e diferentes sistemas de condução de plantas (2H = duas hastes, 3H = três hastes, 4H = quatro hastes)

Fator	**COMP**		**NC**		**NCB**		**DH1**		**DH2**		**DH3**	
Suplementação Luminosa (L)	10,04	**	0,33	ns	8,23	**	1,78	ns	0,82	ns	5,05	*
Sistema de condução (H)	29,3	**	4,64	*	1,8	ns	0,77	ns	3,43	*	0,31	ns
L X H	2,91	ns	1,68	ns	0,37	ns	0,73	ns	0,37	ns	3,07	ns
CV%	3,28		6,31		22,01		15,27		11,64			
Média geral	7,94		28,05		11,19		0,7		0,93			

ns = não significativo pelo teste F a 5%; * = significativo a 5%; ** = significativo a 1%.

Plantas cultivadas com suplementação luminosa foram 17 cm maiores que plantas não suplementadas (Tabela 6). Apesar de estatisticamente significativo, esse aumento (2%) foi pequeno e não interferiu significativamente nos tratos culturais. Considerando que cada haste produziu em média 28,05 cachos, a distância média entre os cachos foi de 34,9 e 35,7 cm para plantas com e sem suplementação luminosa, respectivamente. Plantas suplementadas com luz apresentaram 14% de cachos bifurcados (NCB) a mais que as plantas não suplementadas. O diâmetro basal das hastes (DH3) também foi maior nas plantas suplementadas com luz. Resultados semelhantes foram encontrados por Klamkowski et al. (2014), onde verificaram que plantas suplementadas com LED apresentaram maior comprimento de haste, assim como, maior diâmetro das hastes comparado as plantas sem suplementação luminosa.

O aumento no número de hastes por planta resultou em diminuição do COMP, sendo que plantas com duas hastes foram 7% maiores que plantas cultivadas com quatro hastes. O NC apresentou comportamento semelhante, plantas com duas hastes apresentaram maior número em relação a plantas com quatro hastes. Plantas com duas hastes apresentaram maior

diâmetro mediano de hastes (DH2), contudo não diferindo significativamente do valor apresentado pelas plantas conduzidas com três hastes.

Tabela 6 - Comprimento de haste (COMP), número de cachos por hastes (NC), número de cachos bifurcados por hastes (NCB), diâmetro apical da haste (DH1), diâmetro mediano da haste (DH2) e diâmetro basal de haste (DH3) em plantas de minitomate cv. Sweet Grape cultivado com e sem suplementação luminosa e diferentes sistemas de condução de plantas (2H = duas hastes, 3H = três hastes, 4H = quatro hastes)

FV		COMP		NC		NCB		DH1		DH2		DH3	
		m/haste						---------- cm ----------					
Suplementação Luminosa	**LED**	8,03	a	27,96	a	11,91	a	0,69	a	0,94	a	1,01	a
	S/LED	7,86	b	28,14	a	10,49	b	0,72	a	0,92	a	0,96	b
Sistema de condução	**2H**	8,19	a	28,72	a	11,84	a	0,71	a	0,97	a	1,00	a
	3H	7,94	b	28,03	ab	11,06	a	0,71	a	0,92	ab	0,98	a
	4H	7,69	c	27,41	b	10,66	a	0,68	a	0,89	b	0,97	a
CV%		3,28		6,31		22,01		15,27		11,64		11,07	

Médias seguidas pela mesma letra na coluna no mesmo fator de variação não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%. ns= Não significativo.

Não houve influência da suplementação luminosa na eficiência do uso de nutrientes (Tabela 7). O sistema de condução das plantas influenciou a eficiência do uso de Nitrogênio (N), Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Enxofre (S), Boro (B), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Molibdênio (Mo), Zinco (Zn) e Níquel (Ni).

Tabela 7 - Valor de F para as características eficiência do uso da solução nutritiva (EF), eficiência do uso de Nitrogênio (N), eficiência do uso de Fósforo (P), eficiência do uso de Potássio (K), eficiência do uso de Cálcio (Ca), eficiência do uso de Magnésio (Mg), eficiência do uso de Enxofre (S), eficiência do uso de Boro (B), eficiência do uso de Cobre (Cu), eficiência do uso de Ferro (Fe), eficiência do uso de Manganês (Mn), eficiência do uso de Molibdênio (Mo), eficiência do uso de Zinco (Zn) e eficiência do uso de Níquel (Ni) em função da suplementação luminosa (L) e sistema de condução de plantas (H)

Fator	N		P		K		Ca		Mg		S	
Suplementação Luminosa (L)	1,62	ns	1,16	ns	1,89	ns	2,99	ns	1,29	ns	1,35	ns
Sistema de condução (H)	240,32	**	183,38	**	259,48	**	344,94	**	147,61	**	162,22	**
L X H	0,62	ns	0,51	ns	0,62	ns	0,72	ns	0,3	ns	0,35	ns
CV%	4,15		4,74		4,02		3,46		5,37		5,09	
Média geral	1,89		0,79		4,95		1,94		0,63		2,06	
Fator	**Cu**		**Fe**		**Mn**		**Mo**		**Zn**		**Ni**	
Suplementação Luminosa (L)	1,92	ns	3,63	ns	1,45	ns	1,17	ns	1,62	ns	1,91	ns
Sistema de condução (H)	333,25	**	44,22	**	261,17	**	170,76	**	240,34	**	282,26	**
L X H	0,98	ns	3,24	ns	0,8	ns	0,44	ns	0,62	ns	0,72	ns
CV%	3,56		7,88		4,01		4,9		4,17		3,86	
Média geral	7,13		30,63		7,16		1,40		2,80		1,36	

ns = não significativo pelo teste F a 5%; * = significativo a 5%; ** = significativo a 1%.

A eficiência de uso para todos os nutrientes utilizados na solução nutritiva apresentou mesmo comportamento (Tabela 8), sendo que as plantas cultivadas com duas hastes foram mais eficientes na utilização de nutrientes seguida por plantas com três hastes e a menor eficiência na utilização de nutrientes foi obtida em plantas cultivadas com quatro hastes. Como a eficiência de uso relaciona quantidades aplicadas de nutrientes e massa de frutos produzidos, plantas conduzidas com duas hastes foram mais capazes de transformar os nutrientes disponíveis em frutos produzidos.

Independentemente do sistema de condução das plantas adotado, devido às concentrações pré-estabelecidas da solução nutritiva, verificou-se que o nitrogênio e potássio foram os nutrientes utilizados em maior quantidade. É conhecida a atuação do nitrogênio na divisão celular e na produção de clorofila, bem como do potássio em processos osmóticos, na síntese de proteínas e na manutenção de sua estabilidade, na permeabilidade das membranas e no controle do pH (EPSTEIN; BLOOM, 2005; MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997; MARSCHNER, 1995). Por estarem relacionados na formação de diversos compostos e participarem de grande número de reações na planta, esses dois nutrientes são exigidos em grande quantidade, sendo aqueles que mais contribuem para o aumento de massa da planta, em especial os frutos.

O nitrogênio foi também o nutriente que apresentou maior diferença na eficiência de uso. Enquanto plantas cultivadas com duas hastes necessitaram de 1,51 gramas de N para produzir um grama de fruto fresco, plantas com quatro hastes necessitaram 3,36 gramas de N para produzir mesma quantia, sendo, portanto, 122% menos eficiente no uso deste nutriente.

Tabela 8 - Eficiência do uso de Nitrogênio (N), eficiência do uso de Fósforo (P), eficiência do uso de Potássio (K), eficiência do uso de Cálcio (Ca), eficiência do uso de Magnésio (Mg), eficiência do uso de Enxofre (S), eficiência do uso de Boro (B), eficiência do uso de Cobre (Cu), eficiência do uso de Ferro (Fe), eficiência do uso de Manganês (Mn), eficiência do uso de Molibdênio (Mo), eficiência do uso de Zinco (Zn) e eficiência do uso de Níquel (Ni) em função da suplementação luminosa (L) e sistema de condução de plantas (H)

Sistema de condução	**N**	**P**	**K**	**Ca**	**Mg**	**S**
	g de nutriente / kg de fruto fresco produzido					
2H	1,51 a	0,62 a	3,94 a	1,54 a	0,50 a	1,64 a
3H	1,82 b	0,76 b	4,73 b	1,87 b	0,59 b	1,97 b
4H	3,36 c	0,98 c	6,18 c	2,41 c	0,79 c	2,57 c
CV%	4,15	4,74	4,02	3,46	5,37	5,09

Sistema de condução	**B**	**Cu**	**Fe**	**Mn**	**Mo**	**Zn**	**Ni**
	mg de nutriente / kg de fruto fresco produzido						
2H	16,30 a	5,70 a	25,00 a	5,70 a	1,10 a	2,20 a	1,10 a
3H	19,60 b	6,80 b	30,50 b	6,90 b	1,40 b	2,70 b	1,30 b
4H	25,50 c	8,90 c	36,40 c	8,90 c	1,70 c	3,50 c	1,70 c
CV%	3,19	3,56	7,88	4,01	4,9	4,17	3,86

Médias seguidas pela mesma letra na coluna no mesmo fator de variação não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%.

Plantas cultivadas com duas hastes foram mais eficientes no uso da água em relação aos demais tratamentos. Estas produziram 75,32 g de fruto fresco para cada litro de água aplicado, enquanto para plantas com três e quatro hastes produziram 62,79 g e 48,53 g, respectivamente (Figura 9). Para produção de um quilograma de frutos, plantas com duas hastes necessitaram 13,28 litros de solução nutritiva. Para esta mesma produção plantas com três e quatro hastes necessitaram 15,93 e 20,61 litros de solução respectivamente. A utilização eficiente de água e nutrientes na produção em ambiente protegido é essencial, tanto por razões econômicas como por razões ambientais (KINOSHITA; MASUDA, 2011), podendo este ser o determinante do sucesso ou insucesso do cultivo de minitomate em ambiente protegido.

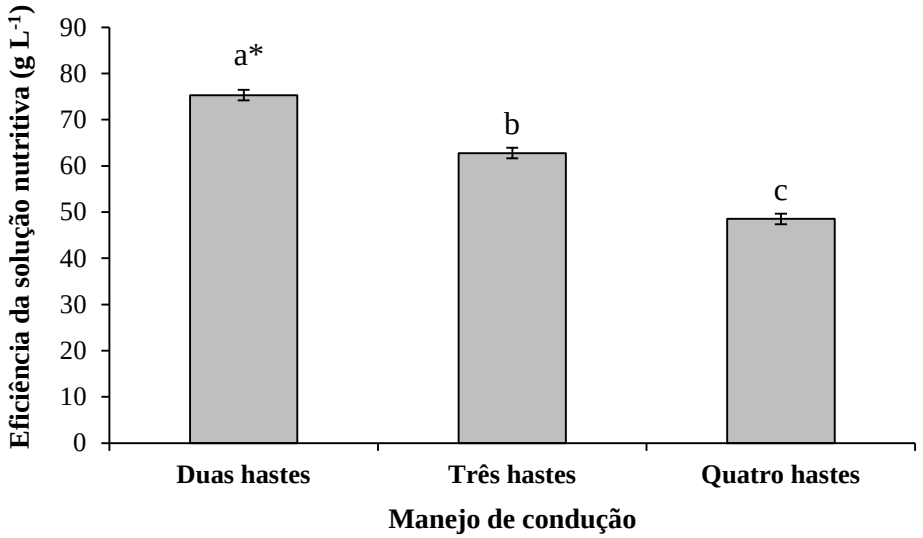


Figura 9 - Eficiência do uso da solução nutritiva (gramas de tomate fresco x solução nutritiva L^{-1}) em função do sistema de condução de plantas (H). * Médias seguidas pela mesma letra sobre a coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%

3.4 Conclusões

As hipóteses desse estudo foram confirmadas. A suplementação luminosa promove o incremento da produtividade de tomate (12%), mostrando-se uma estratégia de manejo tecnicamente viável nas condições climáticas apresentadas na estufa. Entretanto, futuros estudos são necessários para confirmar se o uso de LED é também uma estratégia economicamente viável.

O sistema de condução de hastes afeta a produtividade dos frutos do minitomate. Além de maior produtividade de frutos comerciais, o manejo com duas hastes mostrou-se a estratégia mais eficiente no uso da água e nutrientes.

Referências

ARA, N.; BASHAR, M.K.; BEGUM, S.; KAKON, S.S. Effect of Spacing and Stem Pruning on the Growth and Yield of Tomato. **International Journal of Sustainable Crop Production**, Daca, v. 2, p. 35-39, 2007.

ARZANI K.; BAHADORI, F.; PIRI, S. Paclobutrazol reduces vegetative growth and enhances flowering and fruiting of mature 'J.H. Hale' and 'Red Skin' peach trees. **Horticulture, Environment, and Biotechnology**, Jeollabuk-do, v.50, p.84-93, 2009.

BERTIN, N.; GENARD, M.; FISHMAN, S. A Model for an Early Stage of Tomato Fruit Development Cell Multiplication and Cessation of the Cell Proliferative Activity. **Annals of Botany**, Oxford, v. 92, p. 65-72, 2003.

CAMPAGNOL, R. **Nitrogênio e tipos de substratos no monitoramento nutricional, na produtividade e na qualidade do tomateiro cultivado em ambiente protegido climatizado.** 2015. 95p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.

CPTEC - CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS. **Apresenta informações sobre meteorologia**. Cachoeira Paulista, 2010. Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br>. Acesso em: 11 mar. 2014.

DUECK, T.A.; GRASHOFF, C.; BROEKHUIJSEN, G.; MARCELIS, L.F.M. Efficiency of light energy used by leaves situated in different levels of a sweet pepper canopy. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 711, p.201-206, 2006.

DUECK, T.A.; JANSE, J.; EVELEENS, B.A.; KEMPKES, F.L.K.; MARCELIS, L.F.M. Growth of tomatoes under hybrid LED and HPS lighting. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 952, p. 335-342, 2012.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. **Nutrição Mineral de Plantas:** Princípios e Perspectivas. Sunderland: Sinauer Associates, 2005. 22p.

FAN, X.X.; XU, Z.G.; LIU, X.Y.; TANG, C.M.; WANG, L.W.; HAN, X.L. Effects of light intensity on the growth and leaf development of young tomato plants grown under a combination of red and blue light. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 153, p. 50–55, 2013.

FRANCO, J.L.; DIAZ, M.; DIANEZ, F.; CAMACHO, F. Influence of different types of pruning on cherry tomato fruit production and quality. **Food, Agriculture and Environment**, Helsinki, v. 7, p. 248-253, 2009.

FUKUDA, N.; FUJITAN, M.; OHTA, Y.; SASE, S.; NISHIMURA, S.; EZURA, H. Directional blue light irradiation triggers epidermal cell elongation of abaxial side resulting in inhibition of leaf epinasty in geranium under red light condition. **HortScience**, Alexandria, v. 115, p. 176-182. 2008.

GODA, Y.; ABD EL-REHIM, A.S.; MOHAMED, A.A.; HELALY, A.A.; EL-ZEINY, O.A.H. Effect of shoot Pruning on Growth, Yield and Fruit Quality of Husk Tomato (*Physalispubescens* L.). **Journal of American Science**, New York, v. 10, p. 5-10, 2014.

GUNNLAUGSSON, B.; ADALSTEINSSON, S. Interlight and plant density in year-round production of tomato at northern latitudes. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 711, p. 71-76, 2006.

HOGEWONING, S.W.; TROUWBORST, G.; MALJAARS, H.; POORTER, H.; IEPEREN, W.; HARBINSON, J. Blue light dose–responses of leaf photosynthesis, morphology, and chemical composition of *Cucumis sativus* grown under different combinations of red and blue light. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 61, p. 3107-3117, 2010.

HO, L.C.; HEWITT, J.D. Fruit Development. In: ATHERTON, J.G.; RUDICH, J. **The tomato crop**. London: A Scientific Basis for Improvement, 1986. p. 201-239.

HOVI-PEKKANEN, T.; NÄKKILÄ, J; TAHVONEN, R. Increasing productivity of sweet pepper with interlighting. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 711, p.165-169, 2006.

HOVI-PEKKANEN, T.; TAHVONEN, R. Effects of interlighting on yield and external fruit quality inyear-round cultivated cucumber. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 116, p. 152-161, 2008.

JOKINEN, K.; SÄRKKÄ, L.E.; NÄKKILÄ, J. Improving Sweet Pepper Productivity by LED Interlighting. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 956, p. 59-66, 2012.

KELLER, J.; KARMELI, D. **Trickle irrigation design**. Glendora: Rain Bird Sprinklers Manufacturing ., 1975. 133p.

KINOSHITA, T.; MASUDA, M. Differential Nutrient Uptake and Its Transport in Tomato Plants on Different Fertilizer Regimens. **HortScience**, Alexandria, v. 46, p. 1170-1175, 2011.

KLAMKOWSKI, K.; TREDER, W.; WÓJCIK, K.; PUTERNICKI, A.; LISAK, E. Influence of supplementary lighting on growth and photosynthetic activity of tomato transplants. **Infrastructure and Ecology of Rural Areas**, Cracóvia, v. 3, p. 1377-1385, 2014.

LI, Q.; KUBOTA, C. Effects of supplemental light quality on growth and phytochemicals of baby leaf lettuce. **Environmental and Experiment Botany**, Oxford, v.67, p. 59-64, 2009.

LIU, X.Y.; GUO, S.R.; XU, Z.G.; JIAO, X.L.; TAKAFUMI, T. Regulation of chloroplast ultrastructure, cross-section anatomy of leaves and morphology of stomata of cherry tomato by different light irradiations of LEDs. **HortScience**, Alexandria, v. 46, p. 217-221, 2011.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas.** Piracicaba: POTAFÓS, 1997. 319p.

MARCELIS, L.F.M.; HEUVELINK, E.; BAAN HOFMAN-EIJER, L.R.; DEN BAKKER, J.; XUE, L.B. Flower and fruit abortion in sweet pepper in relation to source and sink strength. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 55, p.2261-2268, 2004.

MAROUELLI, W.A.; SILVA, W.L.C. **Tensões – limite de água no solo para o cultivo do tomateiro para processamento irrigado por gotejamento.** Brasília: Embrapa Hortaliças, 2008. 17p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants.** London: Academic Press, 1995. 889p.

MERRIAN, J.L.; KELLER, J. **Farm irrigation systems evaluation:** A guide for management. Logan: Utah State University, 1978. 271p.

MOURÃO, I.; TEIXEIRA, J.; BRITO, L.M.; FERREIRA, M.E.; MOURA, M.L. Pruning system effect on greenhouse grafted tomato yield and quality. In: ORGANIC WORLD CONGRESS, 2014, Istambul. **Anais…** ISOFAR SCIENTIFIC CONFERENCE,4., 2014. p. 941-944.

NAOYA, F.; MITSUKO, F.; YOSHITAKA, O.; SADANORI, S.; SHIGEO, N.; HIROSHI, E. Directional blue light irradiation triggers epidermal cell elongation of abaxial side resulting in inhibition of leaf epinastyin geranium under red light condition. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 115, p. 176-182, 2008.

NAVARRETE, M.; JEANNEQUIN, B.; SEBILLOTTE, M. Vigour of greenhouse tomato plants (*Lycopersicon esculentum* Mill.): analysis of the criteria used by growers and search for objective criteria. **HortScience**, Alexandria, v. 72, p.821-829, 1997.

NISHIZAWA, T.; SHISHIDO, Y; MURAKAMI, H. Effect of Temporary Changes in Light Intensity on Carbon Transport, Partitioning and Respiratory Loss in Young Tomato Seedlings Raised under Different Light Intensities. **Physiologia Plantarum**, Lund, v. 136, p. 351-357, 2009.

PETTERSEN, R.I.; TORRE, S.; GISLEROD, H.R. Effects of intracanopy lighting on photosynthetic characteristics in cucumber. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 125, p. 77-81, 2010.

PHILLIPS. **Light between the plants**. 2015. 7p. Disponível em: < http://www.lighting.philips.com >. Acesso em: 20 fev.2016.

PREECE J.E.; READ, P.E. **The Biology of Horticulture**. New York : Wiley, 2005. 528p.

SAMUOLIENĖ, G.; BRAZAITYTĖ, A.; DUCHOVSKIS, P.; VIRŠILĖ, A.; JANKAUSKIENĖ, J.; SIRTAUTAS, R.; NOVIČKOVAS, A.; SAKALAUSKIENĖ, S.; SAKALAUSKAITĖ, J. Cultivation of vegetable transplants using solid-state lamps for the short-wavelength supplementary lighting in greenhouses. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 952, p. 885-892, 2012.

TERASHIMA, I.; FUJITA, T.; INOUE, T.; CHOW, W.S.; OGUCHI, R. Green light drives leaf photosynthesis more efficiently than red light in strong white light: revisiting the enigmatic question of why leaves are green. **Plant and Cell Physiology**, Oxford, v. 50, p. 684-697, 2009.

TROUWBORST, G.; OOSTERKAMP, J.; HOGEWONING, S.W.; HARBINSON, J.; VAN IPEREN, W. The responses of light interception, photosynthesis and fruit yield of cucumber to LED-lighting within the canopy. **Physiologia Plantarum**, Lund, v. 138, p. 289-300, 2010.

WANG, L.N.; YANG, X.Y.; REN, Z.H.; WANG, X.F. Regulation of Photoassimilate Distribution between Source and Sink Organs of Crops through Light Environment Control in Greenhouses. **Agricultural Sciences**, Toronto, v. 5, p. 250-256, 2014.

4 SUPLEMENTAÇÃO LUMINOSA E SISTEMA DE CONDUÇÃO DO TOMATEIRO: EFEITOS SOBRE OS ASPECTOS QUALITATIVOS DOS FRUTOS, TEOR DE NUTRIENTES NAS FOLHAS E CARACTERÍSTICAS DA SOLUÇÃO DRENADA

Resumo

O manejo do tomateiro cultivado em ambiente protegido pode contribuir de forma significativa para a produção de frutos de alta qualidade. Dentre as práticas de manejo, o sistema de condução das plantas e a suplementação luminosa com módulos de LED com espectros específicos podem melhorar as características qualitativas desejáveis para os frutos de tomate. O objetivo desse trabalho foi avaliar a interferência do sistema de condução de minitomate *Sweet Grape* em diferentes números de hastes por planta (duas, três e quatro hastes) e a suplementação luminosa pelo uso de módulos de LED na qualidade dos frutos em ambiente protegido. O experimento foi conduzido em ambiente protegido e distribuído em blocos ao acaso com quatro repetições. Os tomateiros foram cultivados em vasos contendo substrato a base de fibra de coco e a nutrição foi realizada através de solução nutritiva aplicada por gotejamento. Amostras de frutos e tecidos foliares foram coletados em cinco períodos e avaliados quanto ao teor de sólidos solúveis, pH, acidez titulável e concentração de ácido ascórbico nos frutos e teor de nutrientes nas folhas. Avaliou-se ao longo do ciclo de cultivo o volume irrigado, pH, condutividade elétrica, porcentagem e volume da solução drenada dos vasos. Plantas com quatro hastes apresentaram maiores teores de sólidos solúveis comparado aos demais tratamentos. A suplementação luminosa também aumentou o teor de sólidos solúveis e ligeiro aumento no teor de ácido ascórbico. A suplementação luminosa favoreceu o acumulo de nitrogênio, fósforo e potássio nas folhas do tomateiro. Plantas com quatro hastes demandaram mais água comparada às plantas com duas e três hastes. Isso acarretou em aumento da condutividade elétrica da solução drenada.

Palavras-chave: Minitomate; Manejo de condução; Iluminação artificial; LED; Número de haste

Abstract

The management of tomato plants in greenhouse can increase significantly the production of high quality fruit. Among the management practices, the plant management system and the light supplementation LED modules with specific light spectra can improve desirable characteristics of the tomato fruit. The objective of this study was to evaluate the interference of different numbers of stems per plant (two, three and four stems) and light supplementation using LED modules on fruit quality of cherry tomato cv. ‘Sweet Grape. The experiment was conducted in a greenhouse and distributed in a randomized block design with four replications. Tomato plants were grown in pots containing substrate the base of coconut fiber and nutrition performed by nutrient solution applied by dropwise. Samples of fruit and leaf tissues were collected in five periods. The parameters quantified were: soluble solids, pH, titratable acidity, concentration of ascorbic acid in fruit and nutrient content in the leaves. Volume of water applied throughout crop cycle, pH, electrical conductivity, and percentage of volume of the drained solution were also evaluated. Four-stem plants had higher soluble solids compared to other treatments. The light supplementation increased the soluble solids and a slight increase in the ascorbic acid content. Furthermore, the light supplementation

favored the accumulation of nitrogen, phosphorus and potassium in the tomato leaves. Four-stem plants demanded more water compared to two- and three-stem plants, thus increasing electrical conductivity of the drained solution.

Keywords: Cherry tomato; Management system; Artificial lighting; LED; Stems number

4.1 Introdução

O tomate contém vários componentes potencialmente benéficos para a saúde humana, apresentando importante papel na dieta e nutrição da população em todo o mundo (ATKINSON et al., 2011). O maior interesse em alimentos funcionais colocou o tomate no foco de muitas pesquisas que estudam a influência do ambiente no conteúdo nutricional das hortaliças. Os teores de compostos benéficos nos frutos de tomate variam de acordo com a cultivar, estádio de maturação dos frutos, sistema de cultivo e com o nível de exposição ao estresse ambiental (SLIMESTAD; VERHEUL, 2009).

A qualidade do tomate para mercado in natura é determinada principalmente pela aparência, firmeza e sabor. Teor de açúcar nos frutos de tomate é uma característica bastante complexa, que é altamente influenciada pelo ambiente (HARTL, 2012). As condições ambientais de cultivo, incluindo a intensidade luminosa, temperatura, duração do dia, disponibilidade hídrica, nutrição, manejo e poda da planta, influenciam os teores de açúcares nos frutos (DORAIS; EHRET; PAPADOPOULOS, 2008).

Além da intensidade, a qualidade luminosa é um fator determinante da qualidade nutricional de frutos (DORAIS; EHRET; PAPADOPOULOS, 2008). Enquanto a luz vermelha estimula o acúmulo de carotenóide no tomate, provavelmente a partir de fitocromos localizados nos frutos (THOMAS; JEN, 1975; ALBA; CORDONNIER-PRATT; PRATT, 2000), o efeito positivo de luz azul no acúmulo de compostos no tomateiro é menos conclusiva (JEN, 1974; SPALDING; COSGROVE, 1989; PARKS; FOLTA; SPALDING, 2001; MENARD et al. 2006), embora em outras espécies a luz azul tenha aumentado a concentrações de ácido ascórbico e de antocianina nos frutos (SPALDING; COSGROVE, 1989; PARKS; FOLTA; SPALDING, 2001; LESTER, 2006).

A iluminação suplementar é utilizada com o intuito de aumentar a taxa fotossintética das plantas e, consequentemente, o rendimento cultural, especialmente em época de reduzida luz natural (HOVI-PEKKANEN; NÄKKILÄ; TAHVONEN, 2006). Estudos recentes com diversas hortaliças, entre elas o tomateiro, têm mostrado que a produtividade pode ser aumentada por meio de suplementação luminosa no interior do dossel, técnica conhecida

como interlighting (HOVI-PEKKANEN; TAHVONEN, 2008; PETTERSEN; TORRE; GISLEROD, 2010; DUECK et al., 2012; JOKINEN; SÄRKKÄ; NÄKKILÄ, 2012).

O sistema de condução de plantas também interfere na distribuição da radiação solar, além de influenciar na competição intra e entre plantas, alterando a relação entre as partes vegetativas e reprodutivas (FRANCO et al., 2009). Modificações na quantidade de hastes por planta alteram a irradiância, principalmente no interior do dossel, resultando assim, modificações tanto na quantidade de frutos produzidos como na qualidade dos mesmos.

Desta forma, testou-se a hipótese de que a suplementação luminosa com módulos de LED promove incremento na qualidade dos frutos e aumento no teor de nutrientes nas folhas de minitomate. A qualidade dos frutos de minitomate, o teor de nutrientes, assim como o comportamento da solução nutritiva drenada, altera com o manejo no numero de hastes.

Para tanto, o objetivo desse trabalho foi avaliar a influencia da suplementação luminosa pelo uso de módulos de LED e o sistema de condução de minitomate em diferentes números de hastes por planta na qualidade dos frutos, teor de nutrientes nas folhas e característica da solução drenada em ambiente protegido.

4.2 Material e métodos

O experimento foi conduzido no período de março a dezembro de 2014 em ambiente protegido, localizado na área experimental do Departamento de Produção Vegetal, pertencente à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP, município de Piracicaba (SP). O clima é do tipo Cwa, ou seja, subtropical úmido com três meses mais secos (junho, julho e agosto), chuvas de verão, seca no inverno, temperatura do mês mais quente superior a 22°C e a do mês mais frio inferior a 18°C (CPTEC, 2010).

O experimento foi realizado no delineamento experimental em blocos ao acaso, com quatro repetições, no esquema fatorial 2 x 3, sendo dois ambientes de cultivo, com e sem suplementação luminosa e três sistemas de condução, plantas com duas, três e quatro hastes.

A suplementação luminosa foi realizada através de módulos de LED (*GreenPower LED interlighting*, Phillips®*)* de 2,47 metros de comprimento, posicionados na horizontal a 1,5 metros do solo. Os módulos são compostos por LEDs nas cores vermelho (~660nm) e azul (~450nm), na proporção 4/1, respectivamente. O fluxo de fótons dos módulos é de 220 µmol/s e o consumo de energia de 105 W (PHILLIPS, 2015). Esta foi realizada de forma intermitente em dois períodos do dia. O primeiro período iniciava 30 minutos antes do

amanhecer, permanecendo por 4 horas ligado, e o segundo no período da tarde permanecendo ligado por mais 4 horas, desligando 30 minutos após o pôr do sol.

O cultivo do hibrido de minitomate ‘Sweet Grape’ foi realizado em vasos de 8 litros, uma planta por vaso, preenchidos com o substrato comercial de fibra de coco (Golden Mix Amafibra). Cada planta foi conduzida no sistema contínuo, com suas hastes tutoradas no sentido vertical por fitilhos plásticos suportados por arames posicionados horizontalmente a 3,0 m de altura do solo, sendo esta a altura de condução. O manejo de condução utilizado foi o sistema denominado de Deslocado ou Carrossel, onde a posição das hastes do tomateiro na linha de cultivo altera-se com seu crescimento, mantendo a mesma densidade por área.

Foram realizados três manejos de condução diferentes, através da poda de formação das hastes. Para plantas com duas hastes, foram eliminadas as brotações axilares, deixado apenas à haste principal e a brotação originada na axila foliar imediatamente abaixo do primeiro cacho floral. Para plantas com três e quatro hastes, além destas duas, foi deixada uma e duas brotações desenvolvidas nas axilas foliares das duas primeiras folhas verdadeiras, respectivamente.

Os tomateiros foram cultivados em vasos distribuídos em linhas simples espaçadas 2,2 m entre si. O espaçamento entre vasos para os sistemas de condução com duas, três e quatro hastes foi de 0,20; 0,30 e 0,4 m, resultando em uma densidade de plantas de 2,27; 1,51 e 1,14 plantas m^{-2}, respectivamente. O número de plantas por parcela foi de 12, 8 e 6 para os sistemas de condução com 2, 3 e 4 hastes, respectivamente resultando em 24 hastes em cada parcela. Porem a densidades de hastes foi igual para os três diferentes manejos de condução, 4,5 hastes m^{-2}.

Diariamente, as 9:00h foi realizada a polinização das plantas através da vibração do arame de condução superior. Semanalmente, foi realizada a retirada das brotações laterais e a retirada das folhas inferiores. Na sequência, procedeu-se a pulverização com fungicida à base de cobre e/ou outros defensivos quando necessário.

Cada tratamento possuía seu sistema de irrigação independente, composto por tanque de armazenamento de solução nutritiva, sistema de suprimento da solução às plantas, formado por moto bombas e gotejadores autocompensantes com vazão de 2,5 L h^{-1}, ramificado em duas lanças de gotejo para cada vaso através de um *manifold*, além de recipientes de coleta da solução drenada.

O sistema de irrigação foi controlado individualmente para cada tratamento através do sistema gasoso de controle de irrigação (Irrigas®), composto por seis sensores por tratamento, sendo a tensão limite para início das irrigações de -4 kPa (MAROUELLI; SILVA, 2008). A

duração dos pulsos de irrigação foi ajustada para que o substrato alcançasse a máxima capacidade de retenção de água e ocorresse uma drenagem média de 15% do volume total irrigado, sendo este tempo ajustado semanalmente.

Sempre que a condutividade elétrica da solução de drenagem ultrapassava 5,0 dS m^{-1} era realizada lavagem do substrato através de aplicação de 3 litros de água por vaso, com o objetivo de reduzir a condutividade elétrica da solução do meio radicular para valores semelhantes aos das soluções nutritivas de entrada no sistema.

A solução nutritiva utilizada foi a proposta por Campagnol (2015) para o cultivo do minitomate 'Sweet Grape'. Esta foi mantida com condutividade elétrica de aproximadamente 1,95 dS m^{-1}.

Durante o período de cultivo foram registrados periodicamente os valores da condutividade elétrica (CE), pH e volume da solução nutritiva drenada pelos vasos através do método "Pourthru" (CAVINS; WHIPKER; FONTENO, 2004). Para isso, os vasos utilizados neste experimento apresentavam dreno único. As avaliações da solução de drenagem foram realizadas após a primeira irrigação do dia. As amostras das soluções drenadas foram coletadas em oito vasos por tratamento, através de recipiente plástico, levadas ao laboratório e analisadas no mesmo dia.

Para a determinação da condutividade elétrica foi utilizado um condutivímetro digital com compensação automática de temperatura. O pH foi obtido por meio de um potenciômetro digital com compensação automática de temperatura e o volume determinado através de uma proveta graduada. As determinações da CE, pH e volume da solução drenada pelos vasos foram realizadas aos 82, 89, 96, 103, 110, 117, 124, 131, 138, 152, 159, 166, 173, 180, 194, 201, 208 e 215 DAT, totalizando 18 períodos de amostragem.

As determinações dos teores de nutrientes nas folhas de tomateiro de cada tratamento foram feitas aos 90, 125, 160, 195, 230 DAT, totalizando 05 períodos de amostragem. Em cada avaliação foram coletadas 12 folhas por parcela, sendo a última folha completamente expandida. Após serem lavadas, foram colocadas em sacos de papel, secadas em estufa com circulação forçada de ar a 65ºC por 48h e moídas em moinho tipo Willey. As determinações dos teores de nutrientes na massa seca das folhas foram realizadas, de acordo com a metodologia apresentada por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997).

As análises das características de qualidade do fruto foram realizadas no Laboratório de Plantas Hortícolas da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", em Piracicaba, SP. Para a determinação do pH, teor de sólidos solúveis (Brix), acidez titulável e concentração de ácido ascórbico, realizadas aos 90, 125, 160, 195 e 230 DAT, 20 frutos maduros foram

selecionados aleatoriamente, triturados e homogeneizados por meio de um processador de alimentos. A determinação do teor de sólidos solúveis foi realizada através da colocação de uma alíquota da polpa em um refratômetro digital (Atago PR-32α, precisão ± 0,1%), sendo os resultados expressos em graus Brix (ºBrix).

A acidez titulável foi determinada através da titulação de uma alíquota de 10g da polpa diluída em 100 ml de água destilada com solução 0,1N de NaOH até que a solução atingisse pH de 8,1, conforme metodologia recomendada pela AOAC (2010), sendo os resultados expressos em porcentagem de ácido cítrico.

Para a determinação do ácido ascórbico (mg 100g-1), 10 g da polpa foram diluídas em 50 mL de ácido oxálico a 1%. A titulação foi feita com solução de 2,6-diclorofenol-indofenol (STROHECKER; HENNING, 1967).

Os dados foram submetidos à análise de variância ANOVA ($p<0.05$). Quando significativo, as médias foram comparadas utilizando o teste de Tukey ($p<0.05$). Todos os procedimentos estatísticos foram realizados usando o programa computacional *Statistical Analysis System* – SAS v.9.3 (SAS Inc., Cary, USA).

4.3 Resultados e discussão

Não houve interação entre suplementação luminosa e sistema de condução das plantas para todas as características analisadas na solução drenada (Tabela 9). A suplementação luminosa influenciou o pH da solução drenada aos 96, 103, 110, 117, 124, 131 e 138 dias após o transplante (DAT), a condutividade elétrica (CE) da solução drenada aos 96, 124, 152, 173 e 215 DAT e o volume do drenado aos 96, 117, 152 e 166 DAT. O sistema de condução de plantas influenciou o pH da solução drenada aos 89, 96, 103, 110, 117, 124, 131, 138 e 173 DAT, a CE da solução drenada aos 89, 96, 103, 117, 124, 131, 138, 152, 159, 166, 173, 180, 194, 201, 208 e 215 e o volume do drenado aos 110 e 152 DAT. A porcentagem do drenado não foi influenciada pelos fatores estudados.

Tabela 9 - Valor de F para pH, condutividade elétrica (CE), porcentagem e volume da solução nutritiva drenada pelos vasos no cultivo de minitomate em função da suplementação luminosa (L) e sistemas de condução de plantas (H)

(continua)

Fator	pH		CE		% drenado		Vol. Drenado	
				82 DAT				
Suplementação Luminosa (L)	0,00	ns	0,00	ns	0,75	ns	0,52	ns
Sistema de condução (H)	2,26	ns	0,21	ns	2,06	ns	1,80	ns
L X H	0,25	ns	0,26	ns	0,29	ns	0,16	ns
CV%	3,15		14,01		32,74		32,51	
Média geral	4,79		4,89		14,21		136,48	
				89 DAT				
Suplementação Luminosa (L)	0,39	ns	0,00	ns	2,08	ns	2,25	ns
Sistema de condução (H)	29,78	**	7,37	**	0,38	ns	1,06	ns
L X H	0,76	ns	0,03	ns	1,35	ns	1,47	ns
CV%	2,29		10,97		37,85		37,91	
Média geral	5,06		4,89		12,20		129,58	
				96 DAT				
Suplementação Luminosa (L)	31,50	**	12,31	**	1,81	ns	7,34	*
Sistema de condução (H)	34,43	**	8,49	**	3,26	ns	2,69	ns
L X H	3,01	ns	1,06	ns	0,01	ns	0,11	ns
CV%	2,86		13,95		23,06		23,68	
Média geral	4,85		4,19		13,87		160,39	
				103 DAT				
Suplementação Luminosa (L)	56,23	**	0,09	ns	2,20	ns	0,20	ns
Sistema de condução (H)	87,70	**	27,15	**	2,83	ns	2,66	ns
L X H	0,85	ns	0,27	ns	0,34	ns	0,83	ns
CV%	1,77		13,94		18,10		18,44	
Média geral	4,69		4,11		16,59		191,25	
				110 DAT				
Suplementação Luminosa (L)	9,94	**	0,79	ns	0,91	ns	3,73	ns
Sistema de condução (H)	93,88	**	3,14	ns	2,31	ns	3,75	*
L X H	1,65	ns	0,63	ns	0,31	ns	0,39	ns
CV%	2,66		19,51		36,30		35,90	
Média geral	4,47		3,41		13,33		160,21	
				117 DAT				
Suplementação Luminosa (L)	0,30	ns	0,18	ns	3,25	ns	7,84	**
Sistema de condução (H)	4,41	*	8,19	**	3,04	ns	1,85	ns
L X H	2,40	ns	0,21	ns	0,12	ns	0,22	ns
CV%	6,55		13,39		22,01		21,66	
Média geral	4,85		4,07		15,54		193,19	

Tabela 9 - Valor de F para pH, condutividade elétrica (CE), porcentagem e volume da solução nutritiva drenada pelos vasos no cultivo de minitomate em função da suplementação luminosa (L) e sistemas de condução de plantas (H)

(continuação)

Fator	pH		CE		% drenado		Vol. Drenado	
				124 DAT				
Suplementação Luminosa (L)	9,80	**	30,67	**	1,87	ns	1,04	ns
Sistema de condução (H)	9,23	**	10,26	**	1,91	ns	0,75	ns
L X H	10,74	**	0,55	ns	1,92	ns	1,65	ns
CV%	4,43		13,01		27,27		26,97	
Média geral	5,51		4,97		10,81		135,25	
				131 DAT				
Suplementação Luminosa (L)	5,81	*	2,71	ns	0,33	ns	0,02	ns
Sistema de condução (H)	13,64	**	4,26	*	0,46	ns	0,35	ns
L X H	4,97	*	1,79	ns	0,41	ns	0,26	ns
CV%	5,01		14,03		35,26		34,69	
Média geral	5,62		6,00		13,53		177,08	
				138 DAT				
Suplementação Luminosa (L)	6,44	*	1,31	ns	1,02	ns	0,20	ns
Sistema de condução (H)	26,10	**	6,14	**	1,72	ns	1,14	ns
L X H	4,19	*	1,56	ns	1,05	ns	1,20	ns
CV%	4,04		16,74		37,43		37,01	
Média geral	6,05		4,67		12,85		174,81	
				152 DAT				
Suplementação Luminosa (L)	0,02	ns	11,31	**	2,25	ns	5,02	*
Sistema de condução (H)	0,85	ns	30,21	**	2,68	ns	3,62	*
L X H	0,40	ns	2,12	ns	2,12	ns	2,08	ns
CV%	4,92		16,10		26,66		26,10	
Média geral	6,05		4,72		14,04		197,50	
				159 DAT				
Suplementação Luminosa (L)	0,82	ns	1,17	ns	1,09	ns	2,64	ns
Sistema de condução (H)	0,57	ns	36,00	**	1,29	ns	0,87	ns
L X H	2,64	ns	2,82	ns	1,64	ns	1,41	ns
CV%	4,29		12,14		30,04		30,38	
Média geral	6,32		4,07		13,55		190,20	
				166 DAT				
Suplementação Luminosa (L)	1,25	ns	0,00	ns	3,66	ns	5,37	*
Sistema de condução (H)	2,20	ns	10,58	**	0,28	ns	0,08	ns
L X H	1,39	ns	3,65	*	7,99	**	5,20	ns
CV%	6,52		20,59		33,17		33,17	
Média geral	6,52		3,33		13,55		190,52	

Tabela 9 - Valor de F para pH, condutividade elétrica (CE), porcentagem e volume da solução nutritiva drenada pelos vasos no cultivo de minitomate em função da suplementação luminosa (L) e sistemas de condução de plantas (H)

(conclusão)

Fator	pH		CE		% drenado		Vol. Drenado	
				173 DAT				
Suplementação Luminosa (L)	3,42	ns	14,33	**	0,01	ns	0,12	ns
Sistema de condução (H)	6,28	**	40,84	**	0,06	ns	0,44	ns
L X H	4,40	*	2,76	ns	7,77	**	0,39	ns
CV%	4,64		11,84		31,89		31,59	
Média geral	6,55		4,57		14,84		208,33	
				180 DAT				
Suplementação Luminosa (L)	0,14	ns	2,31	ns	0,54	ns	0,37	ns
Sistema de condução (H)	1,19	ns	17,37	**	0,23	ns	0,94	ns
L X H	0,11	ns	24,19	**	4,70	*	4,50	ns
CV%	5,61		15,26		49,19		48,97	
Média geral	6,84		4,98		11,82		168,54	
				194 DAT				
Suplementação Luminosa (L)	0,85	ns	0,00	ns	2,00	ns	2,19	ns
Sistema de condução (H)	1,95	ns	11,23	**	0,21	ns	0,69	ns
L X H	4,11	*	3,79	*	1,10	ns	1,31	ns
CV%	4,26		19,47		21,78		21,46	
Média geral	6,99		5,08		15,38		217,92	
				201 DAT				
Suplementação Luminosa (L)	0,19	ns	3,34	ns	1,35	ns	1,34	ns
Sistema de condução (H)	0,27	ns	21,30	**	2,75	ns	0,39	ns
L X H	1,99	ns	11,82	**	0,54	ns	0,53	ns
CV%	3,87		22,10		19,78		19,86	
Média geral	6,88		2,46		15,37		217,37	
				208 DAT				
Suplementação Luminosa (L)	0,22	ns	2,86	ns	0,38	ns	0,40	ns
Sistema de condução (H)	2,52	ns	13,34	**	1,65	ns	0,02	ns
L X H	1,78	ns	4,17	*	1,25	ns	1,16	ns
CV%	8,37		17,24		22,06		22,47	
Média geral	6,95		3,37		15,06		213,20	
				215 DAT				
Suplementação Luminosa (L)	0,13	ns	4,29	*	0,00	ns	0,00	ns
Sistema de condução (H)	0,28	ns	20,11	**	2,40	ns	0,96	ns
L X H	3,92	*	8,98	**	0,77	ns	0,81	ns
CV%	7,63		10,65		13,25		12,87	
Média geral	6,83		4,06		17,11		242,39	

ns = não significativo pelo teste F a 5%; * = significativo a 5%; ** = significativo a 1%.

O volume de solução nutritiva demandada pelas plantas cultivadas sem suplementação luminosa foi ligeiramente superior às plantas suplementadas, dos 82 até 173 DAT, onde a partir desta data se igualaram até o final do ciclo produtivo (Figura 10). O volume d a solução drenada nas plantas sem suplementação luminosa em relação às plantas suplementadas com luz foi superior aos 96, 117, 166 DAT, sendo que aos 152 DAT foi superior nas plantas suplementadas com luz. Apesar da porcentagem de drenagem ter oscilado em ambos os tratamentos durante o ciclo cultural, não houve diferença entre os tratamentos.

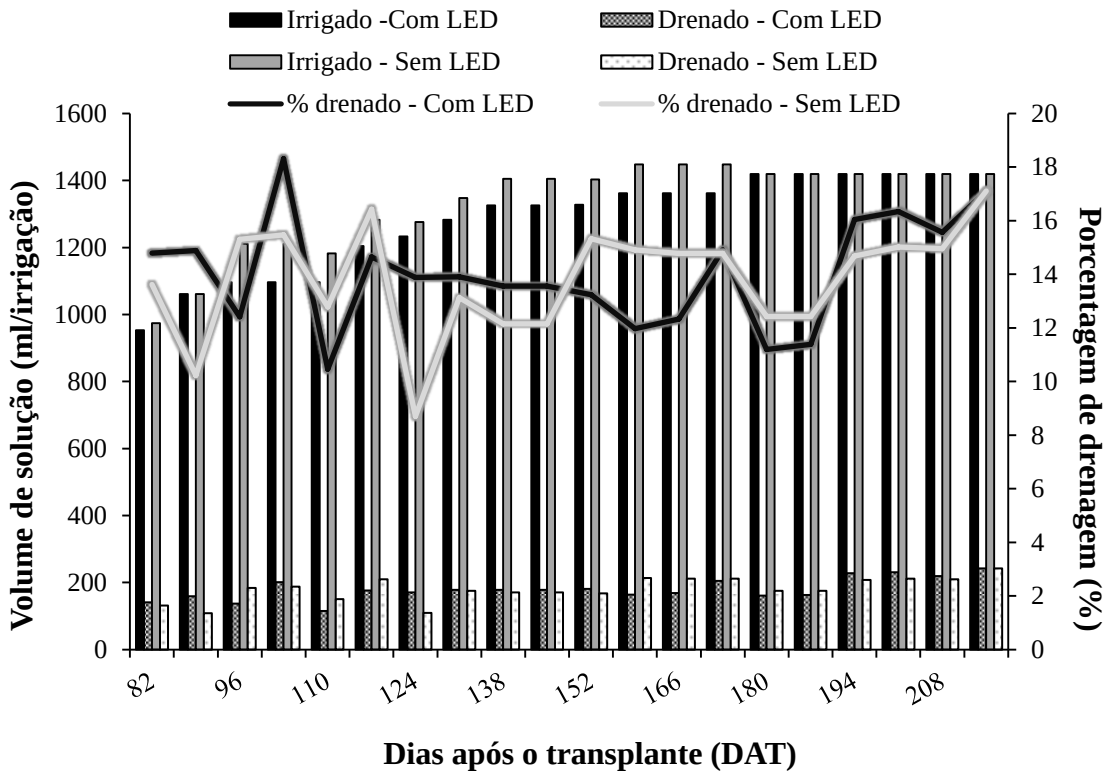


Figura 10 - Média do volume de solução nutritiva irrigado, volume de solução drenado pelos vasos e porcentagem de drenagem pelos vasos no primeiro pulso de irrigação do dia, ao longo do ciclo de minitomate cv. Sweet Grape cultivados com e sem suplementação luminosa

O volume de solução nutritiva demandada pelas plantas cultivadas com quatro hastes foi superior aos demais sistemas de condução, apresentando o mesmo volume das plantas cultivadas com três hastes nos períodos de 96, 103, 117, 124, 131 e dos 152 aos 173 DAT (Figura 11). Plantas cultivadas com duas hastes apresentaram o menor volume irrigado, apresentando mesmo volume das plantas cultivadas com três hastes apenas aos 89 DAT. O volume do drenado, apesar de ter variado ao longo do ciclo foi superior nas plantas cultivadas

com três hastes apenas aos 152 DAT. Não houve diferença entre os diferentes sistemas de condução para porcentagem de drenagem.

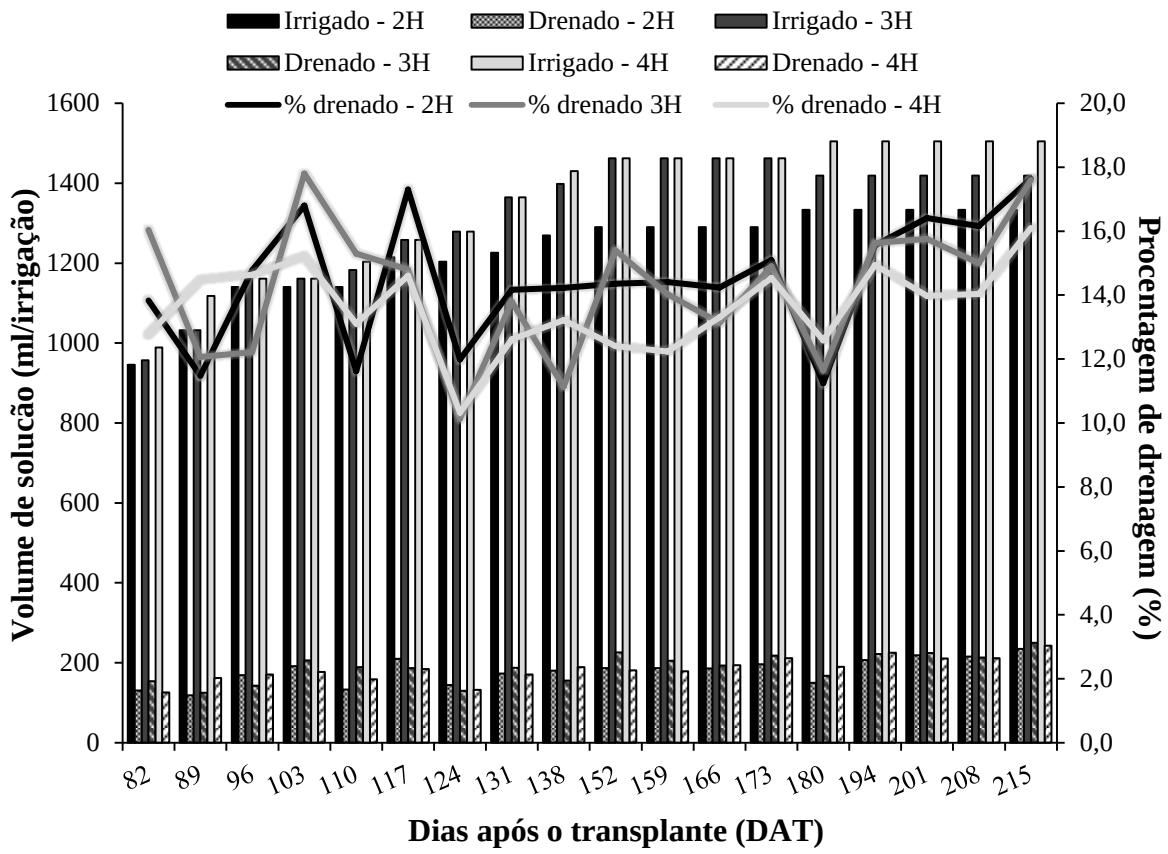


Figura 11 - Média do volume de solução nutritiva irrigado, volume de solução drenado pelos vasos e porcentagem de drenagem pelos vasos no primeiro pulso de irrigação do dia, ao longo do ciclo de minitomate cv. *Sweet Grape* cultivados com diferentes sistemas de condução de plantas (2H = duas hastes, 3H = três hastes, 4H = quatro hastes)

O pH da solução drenada na primeira avaliação apresentou valores de 4,8 para ambos os tratamentos. No decorrer do cultivo, tanto para plantas suplementadas com luz quanto para as não suplementadas, os valores de pH do drenado apresentaram redução dos 89 aos 110 DAT, a partir desta data, ambos os tratamentos apresentaram elevação no pH do drenado devido ao manejo da solução nutritiva (Figura 12). A partir da terceira avaliação, aos 96 DAT, plantas com suplementação luminosas apresentaram pH do drenagem superior às plantas sem suplementação. Este comportamento se manteve até os 138 DAT onde, a partir daí não houve diferença significativa entre os tratamentos até o final do ciclo de cultivo. Na última avaliação, o pH foi de 6,86 e 6,81 para plantas com e sem suplementação luminosa, respectivamente.

O pH do drenado, reflete as características do pH meio radicular. Este por sua vez, pode sofrer influência direta ou indireta de vários fatores, que agem conjuntamente ou de maneira antagônica, com maior ou menor intensidade. Aliado a isso, a exsudação de ânions (OH^- ou $HCO3^-$ ou $RCOO^-$) pelas raízes quando absorvem outros ânions da solução, também elevam o pH da rizosfera. Como isso é um processo contínuo, o pH no meio radicular tende a aumentar ao longo do ciclo de cultivo (ADAM, 2004; JONES, 2005). Em cultivos intensivos, realizados em substratos, isso frequentemente ocorre devido ao restrito volume do recipiente onde se desenvolvem as raízes, à aplicação de fertilizantes via água de irrigação e ao predomínio de nutrientes na forma aniônica na solução (SONNEVELD, 2004).

A variação dos valores de CE da solução drenada ao longo do ciclo de cultivo ocorreu de forma similar nos dois ambientes, com e sem suplementação luminosa, em função do manejo da solução nutritiva (Figura 12). Quando seus valores alcançavam o limite máximo estabelecido que foi de 5,0 dS m^{-1}, realizava-se uma irrigação somente com água, a fim de evitar os efeitos negativos do excesso de sais no meio radicular, o que justifica as oscilações ao longo do ciclo. Das dezoito avaliações realizadas ao longo do ciclo, apenas cinco apresentaram diferença significativa para a CE do drenado entre os dois ambientes luminosos. Nesses períodos os valores da CE foram superiores nas plantas cultivadas sem suplementação luminosa, possivelmente por ter recebido um volume ligeiramente maior de solução nutritiva.

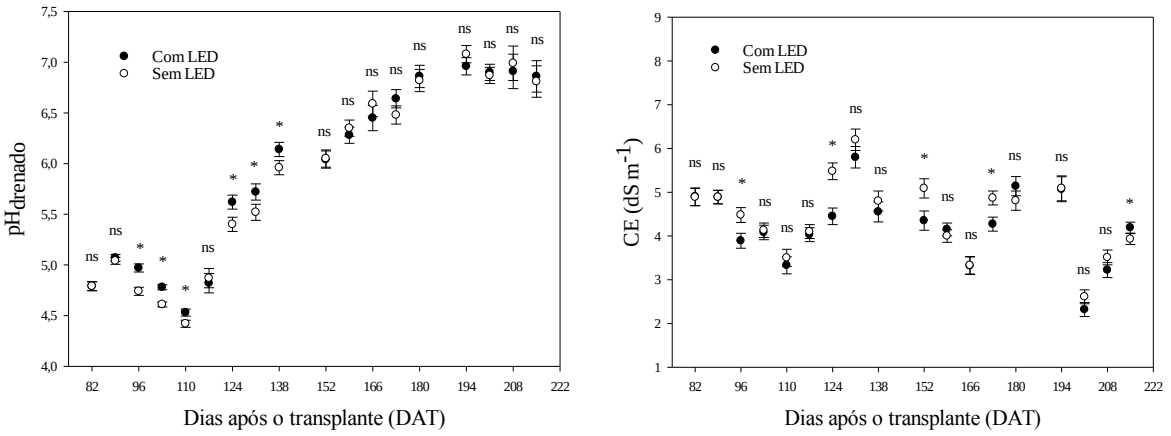


Figura 12 - Variação do pH e da condutividade elétrica (CE) na solução drenada pelos vasos de cultivo ao longo do ciclo de minitomate cv. Sweet Grape cultivado com e sem suplementação luminosa

Os valores de pH da solução drenada apresentaram redução dos 89 aos 110 DAT para os três sistemas de condução das plantas. A partir deste período, apresentou elevação progressiva até o final do ciclo de cultivo (Figura 13). Dos 89 aos 110 DAT, o pH do drenado

em plantas cultivadas com quatro hastes apresentaram menores valores em relação aos demais sistemas de condução. Neste mesmo período, plantas cultivadas com duas hastes apresentaram os maiores valores de pH da solução drenada pelos vasos. Dos 117 aos 138 DAT houve alternância de valores entre os tratamentos. Dos 152 DAT até o final do ciclo de cultivo, não houve diferença entre os tratamentos, exceto aos 173 DAT aonde as plantas cultivadas com quatro hastes apresentaram maior valor no pH da solução drenada. O pH do meio radicular influencia inúmeros processos, afetando direta e indiretamente a disponibilidade e a absorção de nutrientes pelas plantas. Em sistemas de cultivo intensivo, como o cultivo sem solo, o monitoramento e a correção do pH do meio deve ser feito frequentemente e de forma precisa ao longo do ciclo produtivo (SONNEVELD, 2004).

A variação dos valores de CE drenada ao longo do ciclo de cultivo apresentou comportamento similar nos diferentes sistemas de condução (Figura 13). Principalmente devido à aplicação periódica de água com intuído de reduzir a CE do meio radicular. Embora com comportamentos semelhantes, a CE da solução drenada das plantas cultivadas com quatro hastes apresentou valores superiores aos demais sistemas de condução aos 96, 103, 117, 124, 138, 152, 159, 166, 173 DAT, ainda apresentando valores superiores às plantas cultivadas com duas hastes aos 131, 180, 208 e 215 DAT. Por apresentar o mesmo volume de substrato que os demais tratamentos, porém, por demandar mais solução nutritiva devido a maior massa vegetal formada nas plantas cultivadas com quatro hastes, este tratamento apresentou maior elevação da CE drenada, o que evidencia uma CE mais elevado no meio radicular.

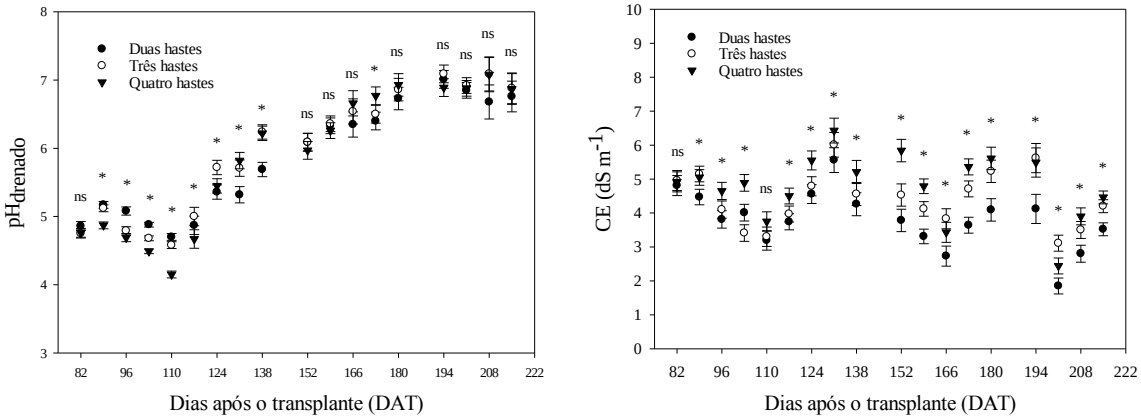


Figura 13 - Variação do pH e da condutividade elétrica (CE) na solução drenada pelos vasos de cultivo ao longo do ciclo de minitomate cv. Sweet Grape cultivado com diferentes sistemas de condução de plantas

Não houve interação entre suplementação luminosa e sistemas de condução de plantas para todos os teores de macronutrientes presentes nas folhas de minitomate ao longo do ciclo de cultivo (Tabela 10). A suplementação luminosa influenciou o teor de nitrogênio (N) aos 90, 125 e 230 DAT, o teor de fósforo (P) aos 90 e 125 DAT, o teor de potássio (K) aos 195 e 230 DAT e o teor de cálcio (Ca) aos 90, 125 e 160 DAT. O sistema de condução influenciou o teor de N aos 160 DAT, o teor de P aos 90, 125 e 195 DAT, o teor de Ca aos 90 e 125 DAT, o teor de magnésio (Mg) aos 125 e 195 DAT . O teor de enxofre (S) não foi afetado pelos fatores estudados.

Tabela 10 - Valor de F para macronutrientes do tecido foliar de minitomate cv. *Sweet Grape* cultivado com e sem suplementação luminosa e diferentes sistemas de condução de plantas (2H = duas hastes, 3H = três hastes, 4H = quatro hastes) ao longo do ciclo

Fator	N		P		K		Ca		Mg		S	
						90 DAT						
Suplementação luminosa (L)	9,98	**	4,84	*	0,41	ns	8,86	**	0,66	ns	2,13	ns
Sistema de condução (H)	0,25	ns	12,13	**	0,57	ns	5,93	*	2,66	ns	0,32	ns
L x H	0,45	ns	0,56	ns	1,16	ns	2,85	ns	0,27	ns	0,14	ns
CV %	4,54		2,23		3,65		5,15		3,79		2,17	
Média geral	40,01		5,80		41,63		15,25		3,58		5,47	
						125 DAT						
Suplementação luminosa (L)	13,24	**	6,43	*	1,21	ns	13,58	**	0,04	ns	3,57	ns
Sistema de condução (H)	3,39	ns	8,65	**	1,62	ns	11,77	**	14,83	**	2,19	ns
L x H	1,99	ns	0,71	ns	1,01	ns	3,45	ns	1,90	ns	1,62	ns
CV %	4,75		2,54		7,07		7,06		6,55		3,68	
Média geral	37,43		5,71		39,63		15,85		3,88		5,28	
						160 DAT						
Suplementação luminosa (L)	2,01	ns	1,39	ns	0,21	ns	24,66	**	0,40	ns	0,56	ns
Sistema de condução (H)	4,30	*	0,26	ns	0,45	ns	0,10	ns	0,43	ns	0,36	ns
L x H	3,38	ns	0,54	ns	0,17	ns	0,02	ns	1,24	ns	0,09	ns
CV %	6,86		5,48		7,38		10,52		8,83		2,61	
Média geral	32,26		4,43		33,63		14,22		3,21		5,25	
						195 DAT						
Suplementação luminosa (L)	0,62	ns	0,05	ns	8,67	*	0,52	ns	0,42	ns	1,05	ns
Sistema de condução (H)	2,32	ns	5,20	*	0,22	ns	1,53	ns	6,57	**	2,73	ns
L x H	0,30	ns	1,56	ns	0,12	ns	0,12	ns	0,45	ns	0,81	ns
CV %	6,80		5,77		5,62		9,34		6,24		4,71	
Média geral	30,15		4,83		28,51		13,06		2,68		5,06	
						230 DAT						
Suplementação luminosa (L)	8,37	*	0,12	ns	36,92	**	0,07	ns	0,11	ns	1,41	ns
Sistema de condução (H)	2,60	ns	1,69	ns	1,86	ns	0,25	ns	2,38	ns	2,24	ns
L x H	0,55	ns	0,00	ns	0,35	ns	0,01	ns	0,02	ns	0,23	ns
CV %	6,01		4,33		12,21		12,12		6,30		3,98	
Média geral	29,33		4,03		28,73		14,67		3,38		5,60	

ns = não significativo pelo teste F a 5%; * = significativo a 5%; ** = significativo a 1%.

Não houve interação entre suplementação luminosa e sistemas de condução de plantas para todos os teores de micronutrientes presentes nas folhas de minitomate ao longo do ciclo (Tabela 11). Apenas os teores de cobre (Cu) presentes, nas folhas de minitomate foram influenciados pela suplementação luminosa aos 90, 125 e 230 DAT e pelo sistema de condução de plantas aos 125 e 230 DAT. Os demais micronutrientes, ferro (Fe), zinco (Zn), manganês (Mn) e boro (B) não foram influenciados pelos fatores estudados.

Tabela 11 - Valor de F para micronutrientes do tecido foliar de minitomate cv. *Sweet Grape* cultivado com e sem suplementação luminosa e diferentes sistemas de condução de plantas (2H = duas hastes, 3H = três hastes, 4H = quatro hastes) ao longo do ciclo

Fator	Cu		Fe		Zn		Mn		B	
					90 DAT					
Suplementação luminosa (L)	25,61	**	1,28	ns	0,63	ns	0,55	ns	1,44	ns
Sistema de condução (H)	3,18	ns	0,54	ns	2,10	ns	2,26	ns	2,75	ns
L x H	1,06	ns	0,96	ns	0,09	ns	0,76	ns	0,01	ns
CV %	4,24		10,56		4,81		11,93		6,27	
Média geral	12,38		109,17		32,08		59,75		43,41	
					125 DAT					
Suplementação luminosa (L)	22,97	**	2,65	ns	0,15	ns	0,43	ns	3,38	ns
Sistema de condução (H)	3,99	*	1,58	ns	3,24	ns	2,47	ns	0,86	ns
L x H	2,47	ns	1,20	ns	0,20	ns	0,80	ns	2,32	ns
CV %	7,65		10,84		5,21		17,19		7,83	
Média geral	12,25		83,33		30,46		61,42		45,33	
					160 DAT					
Suplementação luminosa (L)	1,71	ns	3,83	ns	0,18	ns	0,98	ns	0,00	ns
Sistema de condução (H)	0,57	ns	3,30	ns	0,25	ns	0,24	ns	3,48	ns
L x H	2,13	ns	3,23	ns	0,62	ns	0,93	ns	0,11	ns
CV %	9,61		16,31		13,02		20,92		15,08	
Média geral	9,75		107,33		25,79		96,42		43,63	
					195 DAT					
Suplementação luminosa (L)	0,65	ns	1,49	ns	1,41	ns	0,32	ns	3,05	ns
Sistema de condução (H)	0,00	ns	0,36	ns	0,46	ns	0,76	ns	2,62	ns
L x H	0,65	ns	1,21	ns	0,17	ns	0,46	ns	0,53	ns
CV %	8,09		18,73		7,65		11,19		12,27	
Média geral	12,50		139,17		33,71		58,08		28,58	
					230 DAT					
Suplementação luminosa (L)	19,96	**	1,93	ns	2,84	ns	0,29	ns	0,40	ns
Sistema de condução (H)	7,20	**	1,04	ns	2,32	ns	0,20	ns	0,14	ns
L x H	2,95	ns	0,93	ns	0,64	ns	0,43	ns	2,72	ns
CV %	7,63		18,27		20,78		15,34		17,51	
Média geral	15,58		109,33		30,88		84,08		79,29	

ns = não significativo pelo teste F a 5%; * = significativo a 5%; ** = significativo a 1%.

O teor de N nas folhas de minitomate foi superior nas plantas suplementadas com luz aos 90, 125 e 230 DAT em relação às plantas não suplementadas. Apesar de serem diferenças pequenas 6,02; 7,31 e 2,21%, respectivamente, são consideráveis por se tratar de um elemento tão importante na fisiologia da planta (Tabela 12). O maior aporte de radiação luminosa possivelmente estimulou o tomateiro a acumular maior teor deste nutriente nas folhas, visto que este atua na divisão celular e na produção de clorofila (EPSTEIN; BLOOM, 2005).

O teor de P nas folhas de minitomate também foi superior nas plantas suplementadas com luz, porém esta diferença em relação às plantas sem suplementação luminosa ocorreu apenas no início do ciclo reprodutivo, aos 90 e 125 DAT.

Igualmente ao N e P o teor de K nas folhas de minitomate foi superior nas plantas suplementadas com luz, porém diferentes dos outros dois nutrientes, a diferença em relação às plantas não suplementadas ocorreu apenas no final do ciclo reprodutivo aos 195 e 230 DAT. Os valores encontrados para todos os tratamentos ficaram acima dos valores encontrados por Soares et al. (2005) e Abrahão, (2011), porém dentro da faixa considerada adequada (30-50g kg^{-1}) por Raij et al. (1997). O potássio não faz parte de nenhuma estrutura ou molécula orgânica na planta (MEURER, 2006), encontra-se como cátion livre ou adsorvido, podendo ser facilmente deslocado nas células ou tecidos da planta e remobilizado para as folhas mais jovens (TAIZ; ZEIGER, 2013). Dessa forma, a deficiência deste macronutriente é observada inicialmente nas folhas mais velhas com clorose e posterior necrose das margens e pontas das folhas (MALAVOLTA, 2006).

O comportamento do Ca foi distinto dos demais, pois plantas sem suplementação luminosa apresentaram maior teor Ca nas folhas de minitomate em comparação às plantas suplementadas com luz. Tais diferenças ocorreram aos 90, 125, 160 DAT, representando 6, 50; 11,19 e 23,86% respectivamente. O cálcio é um nutriente essencial para o desenvolvimento das plantas, pois participa de vários processos fisiológicos e de biossíntese (ALBINO-GARDUÑO et al., 2008). Faz parte dos pectatos, que são constituintes da parede celular, sendo também responsável pela ativação de algumas enzimas relacionadas com o metabolismo do fósforo, interferindo na permeabilidade das membranas protoplasmáticas, no desenvolvimento das raízes e na fosforilação fotossintética (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Tabela 12 - Teores de macronutrientes no tecido foliar de minitomate cv. Sweet Grape cultivado com e sem suplementação luminosa e diferentes sistemas de condução de plantas (2H = duas hastes, 3H = três hastes, 4H = quatro hastes) ao longo do ciclo

Fator		N	P	K	Ca	Mg	S
				g/kg			
				90 DAT			
Suplementação luminosa	**LED**	41,18 a*	5,86 a	41,82 a	14,77 b	3,59 a	5,51 a
	S/LED	38,84 b	5,75 b	41,43 a	15,73 a	3,55 a	5,44 a
Sistema de condução	**2H**	41,31 a	5,64 b	42,09 a	14,56 b	3,49 a	5,46 a
	3H	40,04 a	5,82 a	41,43 a	15,29 ab	3,64 a	5,46 a
	4H	39,67 a	5,96 a	41,36 a	15,91 a	3,60 a	5,50 a
CV%		4,54	2,23	3,65	5,15	3,79	2,17
				125 DAT			
Suplementação luminosa	**LED**	38,75 a	5,78 a	40,26 a	15,01 b	3,87 a	5,36 a
	S/LED	36,11 b	5,63 b	39,00 a	16,69 a	3,89 a	5,21 a
Sistema de condução	**2H**	38,67 a	5,55 b	41,03 a	14,74 b	3,48 b	5,28 a
	3H	37,23 a	5,72 ab	38,57 a	15,45 b	4,05 a	5,40 a
	4H	36,39 a	5,85 a	39,29 a	17,36 a	4,12 a	5,21 a
CV%		4,75	2,54	7,07	7,06	6,55	3,68
				160 DAT			
Suplementação luminosa	**LED**	31,62 a	4,48 a	33,39 a	12,70 b	3,17 a	5,27 a
	S/LED	32,90 a	4,36 a	33,86 a	15,73 a	3,25 a	5,23 a
Sistema de condução	**2H**	33,95 a	4,40 a	33,16 a	14,17 a	3,28 a	5,25 a
	3H	32,11 ab	4,48 a	34,29 a	14,07 a	3,20 a	5,26 a
	4H	30,71 b	4,40 a	33,42 a	14,40 a	3,15 a	5,21 a
CV%		6,86	5,47	7,38	10,52	8,83	2,61
				195 DAT			
Suplementação luminosa	**LED**	30,48 a	4,84 a	29,48 a	12,88 a	2,71 a	5,12 a
	S/LED	29,82 a	4,82 a	27,55 b	13,24 a	2,66 a	5,02 a
Sistema de condução	**2H**	31,35 a	4,57 b	28,21 a	12,56 a	2,51 b	5,01 a
	3H	29,94 a	4,91 ab	28,60 a	13,62 a	2,79 a	5,22 a
	4H	29,17 a	5,00 a	28,73 a	13,00 a	2,75 a	4,96 a
CV%		6,80	5,77	5,62	9,34	6,24	4,71
				230 DAT			
Suplementação luminosa	**LED**	30,37 a	4,04 a	33,07 a	14,57 a	3,39 a	5,66 a
	S/LED	28,29 b	4,02 a	24,37 b	14,77 a	3,36 a	5,55 a
Sistema de condução	**2H**	29,99 a	3,94 a	26,77 a	14,37 a	3,49 a	5,56 a
	3H	29,84 a	4,06 a	29,74 a	15,00 a	3,39 a	5,51 a
	4H	28,17 a	4,09 a	29,66 a	14,64 a	3,26 a	5,74 a
CV%		6,01	4,33	12,21	12,12	6,30	3,98

* Médias seguidas pela mesma letra na coluna no mesmo fator de variação não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%.

Plantas suplementadas com luz apresentaram maior teor de Cu em relação as não suplementadas aos 90, 125 e 230 DAT (Tabela 13). Em relação ao sistema de condução houve diferença entre os tratamentos aos 125 e 230 DAT. Apenas na última avaliação aos 230 DAT os teores de Cu ficaram acima da faixa considerada adequada por Raij et al. (2007), de 5-15 mg kg^{-1}. Nas demais avaliações, os valores de todos os tratamentos estiveram dentro da faixa considerada adequada por este autor.

Aos 125 DAT, os teores de Fe ficaram abaixo da faixa considerada adequada por Raij et al. (1997), de 100-300 mg kg^{-1}. Segundo Malavolta (1980), a deficiência do ferro ocorre geralmente devido a uma diminuição na sua disponibilidade ou na sua absorção, não sendo causada por sua ausência. Isso pode justificar a oscilação dos teores desse nutriente nas folhas no decorrer do ciclo. Aos 160 DAT, os teores de Zn ficaram abaixo da faixa considerada adequada nas folhas de tomateiro por Raij et al. (1997), de 30-100 mg kg^{-1}. Os teores de Mn ficaram acima da faixa considerada adequada por Raij et al. (1997), de 50-250 mg kg^{-1}.

Em todas as avaliações os teores de B nas folhas de minitomate estiveram dentro da faixa considerada adequada por Raij et al. (1997), de 30-100 mg kg^{-1}. Os teores de micronutrientes encontrados neste experimento foram semelhantes aos encontrados por Abrahão (2011) exceto para Mn onde os valores deste trabalho foram superiores ao do autor citado.

Tabela 13 - Micronutrientes ao longo do ciclo em folhas de minitomate cv. Sweet Grape cultivado com e sem suplementação luminosa e diferentes sistemas de condução de plantas (2H = duas hastes, 3H = três hastes, 4H = quatro hastes)

Fator		Cu	Fe	Zn	Mn	B
				mg/kg		
				90 DAT		
Suplementação luminosa	**LED**	12,92 a	111,83 a	31,83 a	58,67 a	42,75 a
	S/LED	11,83 b	106,50 a	32,33 a	60,83 a	44,08 a
Sistema de condução	**2H**	12,00 a	105,75 a	32,37 a	55,38 a	41,62 a
	3H	12,62 a	110,50 a	31,19 a	62,00 a	44,69 a
	4H	12,50 a	111,25 a	31,69 a	61,87 a	43,94 a
CV%		4,24	10,56	4,81	11,93	6,27
				125 DAT		
Suplementação luminosa	**LED**	13,17 a	83,33 a	30,58 a	60,00 a	44,00 a
	S/LED	11,33 b	80,33 a	30,33 a	62,83 a	46,67 a
Sistema de condução	**2H**	11,50 b	79,50 a	30,62 a	54,75 a	44,37 a
	3H	12,75 a	87,50 a	29,37 a	65,75 a	46,62 a
	4H	12,50 ab	83,00 a	31,37 a	63,75 a	45,00 a
CV%		7,65	10,84	5,21	17,19	7,83
				160 DAT		
Suplementação luminosa	**LED**	9,50 a	114,33 a	26,08 a	92,33 a	43,67 a
	S/LED	10,00 a	100,33 a	25,50 a	100,50 a	43,58 a
Sistema de condução	**2H**	10,00 a	117,00 a	25,13 a	93,00 a	38,88 a
	3H	9,50 a	110,00 a	26,25 a	100,00 a	47,38 a
	4H	9,75 a	95,00 a	26,00 a	96,25 a	44,63 a
CV%		9,61	16,31	13,02	20,92	15,08
				195 DAT		
Suplementação luminosa	**LED**	12,66 a	145,67 a	30,08 a	57,33 a	29,83 a
	S/LED	12,33 a	132,67 a	34,33 a	58,83 a	27,33 a
Sistema de condução	**2H**	12,50 a	144,50 a	34,12 a	56,00 a	28,75 a
	3H	12,50 a	133,50 a	33,00 a	58,25 a	30,50 a
	4H	12,50 a	139,50 a	34,00 a	60,00 a	26,50 a
CV%		8,09	18,73	7,65	11,19	12,27
				230 DAT		
Suplementação luminosa	**LED**	16,67 a	103,67 a	28,67 a	85,50 a	77,50 a
	S/LED	14,50 b	115,00 a	33,08 a	82,67 a	81,08 a
Sistema de condução	**2H**	14,50 b	101,00 a	29,75 a	81,75 a	77,88 a
	3H	15,50 ab	113,50 a	28,12 a	85,50 a	78,63 a
	4H	16,75 a	113,50 a	34,75 a	85,00 a	81,38 a
CV%		7,63	18,27	20,78	15,34	17,52

* Médias seguidas pela mesma letra na coluna no mesmo fator de variação não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%.

Com relação às características qualitativas dos frutos, não houve interação entre suplementação luminosa e sistema de condução das plantas para todas as características

analisadas (Tabela 14). A suplementação luminosa influenciou significativamente o teor de sólidos solúveis (TSS) e o conteúdo de ácido ascórbico (AA) dos frutos de minitomate, porém isso foi variável ao longo do ciclo de produção. O sistema de condução influenciou apenas o TSS, as demais características não foram influenciadas por este fator.

Tabela 14 - Valores de F para teor de sólidos solúveis (TSS), pH, teor de ácido ascórbico (AA) e acidez titulável (AT) em frutos de minitomate cv. *Sweet Grape* em função da suplementação luminosa (L) e sistemas de condução de plantas (H)

Fator	**TSS (°Brix)**		**pH**		**AA (mg 100 g-1)**		**AT (% de ácido cítrico)**	
				90 DAT				
Suplementação luminosa (L)	7,88	*	1,37	ns	0,31	ns	0,46	ns
Sistema de condução (H)	4,61	*	0,06	ns	2,74	ns	0,22	ns
L x H	2,50	ns	0,41	ns	0,10	ns	0,55	ns
CV %	2,21		0,33		3,35		2,85	
Média geral	7,91		4,28		30,11		0,66	
				125 DAT				
Suplementação luminosa (L)	8,37	*	3,01	ns	20,81	**	1,98	ns
Sistema de condução (H)	17,69	**	0,10	ns	1,75	ns	2,85	ns
L x H	3,38	ns	0,70	ns	2,18	ns	0,98	ns
CV %	2,55		0,30		4,72		4,26	
Média geral	8,57		4,26		29,36		0,53	
				160 DAT				
Suplementação luminosa (L)	9,60	**	0,81	ns	0,50	ns	2,55	ns
Sistema de condução (H)	36,04	**	0,26	ns	0,29	ns	2,66	ns
L x H	2,96	ns	0,13	ns	0,54	ns	1,65	ns
CV %	1,48		0,73		14,73		2,69	
Média geral	7,13		4,31		26,94		0,46	
				195 DAT				
Suplementação luminosa (L)	0,11	ns	0,05	ns	10,66	**	1,78	ns
Sistema de condução (H)	7,95	**	0,18	ns	1,56	ns	0,41	ns
L x H	0,47	ns	0,8	ns	1,31	ns	0,74	ns
CV %	3,09		1,27		12,86		3,89	
Média geral	7,89		4,39		29,23		0,46	
				230 DAT				
Suplementação luminosa (L)	0,03	ns	1,83	ns	5,23	*	2,07	ns
Sistema de condução (H)	4,17	*	0,25	ns	0,68	ns	0,39	ns
L x H	0,47	ns	0,72	ns	0,59	ns	1,78	ns
CV %	4,16		1,64		16,02		3,41	
Média geral	8,12		4,42		26,23		0,44	

** Significante pelo Teste de Tukey (p<0,01) * (p<0,05) e ns: não significante

O TSS foi superior em plantas cultivadas com suplementação luminosa nas três primeiras avaliações, sendo que nas avaliações subsequentes esta diferença não foi observada (Tabela 15). Resultados semelhantes foram encontrados por Kowalczyk et al. (2012), que observaram aumento no teor de açúcares totais em híbridos de tomate cultivado com suplementação luminosa com barras de LED. O teor de açúcares é resultado de processos fisiológicos, metabólicos e genéticos do fruto que ocorrem durante o seu desenvolvimento (HO; HEWITT, 1986). A produção de açúcares inicia-se com a fotossíntese foliar. As folhas produzem fotoassimilados que são translocados para os frutos em desenvolvimento. A capacidade de translocar carboidratos para os frutos é definido pela relação fonte: dreno e influencia a distribuição de açúcares na planta. Com isso, a maior disponibilidade luminosa nos tratamentos suplementados com luz resultou em maior TSS nos frutos.

A suplementação luminosa também influenciou o conteúdo de AA nos frutos, no qual foi superior nas plantas suplementadas com luz. O aumento apresentado pelas plantas com suplementação luminosa foi de 9, 19 e 16% na 2º, 4º e 5º avaliações, respectivamente. Nas demais avaliações, não houve diferença estatística para esse fator. Os compostos presentes nos frutos de tomate tais como a vitamina C, carotenóides e fenóis são fortemente afetados pela intensidade, duração e qualidade da luz. Diversos outros estudos também verificaram que os antioxidantes, tais como vitamina C, apresentaram acréscimo com aumento da intensidade de luminosa (McCOLLUM, 1954; JU; DUAN; JU, 1999; LEE; KADER, 2000; MERZLYAK; SOLOVCHENKO; CHIVKUNOVA, 2002; AMIOT et al., 2007). Embora a luz não seja essencial para a síntese de ácido ascórbico, a intensidade luminosa influencia o teor de ácido ascórbico nos frutos de tomate, pois este é sintetizado a partir de açúcares produzidos através da fotossíntese (LEE; KADER, 2000).

Plantas cultivadas com quatro hastes apresentaram maior TSS em relação aos demais sistemas de condução, exceto aos 90, 195 e 230 DAT onde não diferiu significativamente das plantas cultivadas com duas hastes. O aumento no número de hastes resultou em aumento no TSS nos frutos, tal comportamento provavelmente ocorreu devido ao aumento na CE do meio radicular, que ao longo do ciclo foi superior nas plantas cultivadas com quatro hastes. Estes resultados são diferentes aos encontrados por Mourão et al. (2014) que não encontraram diferenças no TSS nos frutos das plantas cultivadas com duas, três e quatro hastes.

Tabela 15 - Teor de sólidos solúveis (TSS), pH, teor de ácido ascórbico (AA) e acidez titulável (AT) em frutos de minitomate cv. *Sweet Grape* em função da suplementação luminosa e sistemas de condução de plantas

TRAT		TSS (oBrix)	pH	AA (mg 100 g-1)	AT (% de ácido cítrico)
			90 DAT		
Suplementação luminosa	**LED**	8,00 a*	4,28 a	30,23 a	0,66 a
	S/LED	7,81 b	4,28 a	29,99 a	0,66 a
Sistema de condução	**2H**	7,79 b	4,28 a	30,33 a	0,66 a
	3H	7,89 ab	4,28 a	29,44 a	0,67 a
	4H	8,05 a	4,27 a	30,56 a	0,66 a
CV%		2,21	0,33	3,55	2,85
			125 DAT		
Suplementação luminosa	**LED**	8,70 a	4,25 a	30,65 a	0,53 a
	S/LED	8,44 b	4,26 a	28,08 b	0,52 a
Sistema de condução	**2H**	8,24 c	4,27 a	28,78 a	0,51 a
	3H	8,58 b	4,26 a	29,26 a	0,54 a
	4H	8,88 a	4,27 a	30,06 a	0,53 a
CV%		2,55	0,30	4,72	4,26
			160 DAT		
Suplementação luminosa	**LED**	7,20 a	4,31 a	27,51 a	0,47 a
	S/LED	7,07 b	4,30 a	26,36 a	0,46 a
Sistema de condução	**2H**	6,89 c	4,30 a	26,69 a	0,47 a
	3H	7,19 b	4,31 a	27,78 a	0,45 a
	4H	7,32 a	4,30 a	26,34 a	0,46 a
CV%		1,48	0,73	14,74	2,69
			195 DAT		
Suplementação luminosa	**LED**	7,91 a	4,39 a	31,73 a	0,47 a
	S/LED	7,87 a	4,40 a	26,72 b	0,46 a
Sistema de condução	**2H**	7,65 b	4,38 a	28,09 a	0,47 a
	3H	7,89 ab	4,40 a	31,13 a	0,47 a
	4H	8,14 a	4,40 a	28,46 a	0,46 a
CV%		3,09	1,27	12,86	3,89
			230 DAT		
Suplementação luminosa	**LED**	8,12 a	4,40 a	28,19 a	0,45 a
	S/LED	8,14 a	4,44 a	24,27 b	0,44 a
Sistema de condução	**2H**	7,92 b	4,42 a	27,22 a	0,44 a
	3H	8,06 ab	4,43 a	24,87 a	0,45 a
	4H	8,40 a	4,45 a	26,59 a	0,44 a
CV%		4,16	1,64	16,02	3,41

* Médias seguidas pela mesma na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%.

4.4 Conclusões

As hipóteses desse estudo foram confirmadas. A suplementação luminosa promove incremento na qualidade dos frutos, aumentando o teor de sólidos solúveis e da concentração de ácido ascórbico. Também favoreceu o acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio nas folhas de minitomate, o que influenciou positivamente a produção de frutos. Apesar de ser uma estratégia de manejo tecnicamente viável nas condições estudadas, investigações futuras são necessárias para confirmar se o uso desta tecnologia é também uma estratégia economicamente viável.

O sistema de condução das plantas afeta a qualidade dos frutos de minitomate, assim como as características da solução drenada. Plantas com quatro hastes apresentaram maiores valores na condutividade elétrica da solução drenada, resultando em aumento no teor de sólidos solúveis, principal característica relacionada à qualidade do fruto. Porém, mesmo sendo uma estratégia tecnicamente viável no aumento da qualidade dos frutos, o aumento da condutividade elétrica da solução drenada pode reduzir a produtividade do tomateiro e afetar a viabilidade econômica do cultivo.

Referências

ABRAHÃO, C. **Relação K:Ca:**Mg na solução nutritiva para o cultivo de mini tomate em substrato. 2011. 86p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciencias Agronomicas / Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2011.

ADAMS, P. Aspectos de la nutrición mineral em cultivos sin suelo em relación al suelo. In: GAVILÁN, M.U. (Coord.). **Tratado de cultivo sin suelo**. Madri: Mundi Prensa, 2004. cap. 3, p. 81-111.

ALBA, R.; CORDONNIER-PRATT, M.M.; PRATT, L.H. Fruit-localized phytochromes regulate lycopene accumulation independently of ethylene production in tomato. **Plant Physiology**, Stuttgart, v. 123, p. 363-370, 2000.

ALBINO-GARDUÑO, R.; ZAVALETA-MANCERA, H.A.; RUIZ-POSADAS, L.M.; SANDOVAL-VILLA, M.; CASTILLO-MORALES, A. Response of Gerbera to calcium in hydroponics. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 31, p. 91-101, 2008.

AMIOT, M.J.; TOURNIAIRE, F.; MARGOTAT, A. Flavonoids in food and wine. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 744, p. 107-116, 2007.

ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTRY - AOAC. Official methods of analysis of the Association of Analytical Chemists International. 18th. Ed. Washington: AOAC, 2010. p.37-10, 42-2, 44-3, 45-16.

ATKINSON, N.J.; DEW, T.P.; ORFILA, C.; URWIN, P.E. Influence of combined biotic and abiotic stress on nutritional quality parameters in tomato (*Solanum lycopersicum*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Davis, v. 59, p. 9673-9682, 2011.

CAMPAGNOL, R. **Nitrogênio e tipos de substratos no monitoramento nutricional, na produtividade e na qualidade do tomateiro cultivado em ambiente protegido climatizado.** 2015. 95p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.

CAVINS, T.J.; WHIPKER, B.E.; FONTENO, W.C. Establishment of Calibration Curves for Comparison of Pour Thru and Saturated Media Extract Nutrient Values. **HortScience**, Alexandria, v. 39, n. 7, p. 1635-1639, 2004.

CPTEC - CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS. **Apresenta informações sobre meteorologia**. Cachoeira Paulista, 2010. Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br>. Acesso em: 11 mar. 2014.

DORAIS, M.; EHRET, D.L.; PAPADOPOULOS, A.P., 2008. Tomato (*Solanum lycopersicum*) health components: from the seed to the consumer. **Phytochemistry Reviews**, Dordrecht, v. 7, p. 231-250, 2008.

DUECK, T.A.; JANSE, J.; EVELEENS, B.A.; KEMPKES, F.L.K.; MARCELIS, L.F.M. Growth of tomatoes under hybrid LED and HPS lighting. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 952, p. 335-342, 2012.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. **Nutrição Mineral de Plantas:** Princípios e Perspectivas. Sunderland: Sinauer Associates, 2005. 22p.

FRANCO, J.L.; DIAZ, M.; DIANEZ, F.; CAMACHO, F. Influence of different types of pruning on cherry tomato fruit production and quality. **Food, Agriculture and Environment**, Helsinki, v. 7, p. 248-253, 2009.

HARTL, D.L. **Essential Genetics: A Genomics Perspective**. Sudbury: Jones & Bartlett Learning, 2012. 574p.

HO, L.C.; HEWITT, J.D. Fruit Development. In: ATHERTON, J.G.; RUDICH, J. **The tomato crop**. London: A Scientific Basis for Improvement, 1986. p. 201-239.

HOVI-PEKKANEN, T.; NÄKKILÄ, J.; TAHVONEN, R. Increasing productivity of sweet pepper with interlighting. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 711, p.165-169, 2006.

HOVI-PEKKANEN, T.; TAHVONEN, R. Effects of interlighting on yield and external fruit quality inyear-round cultivated cucumber. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 116, p. 152-161, 2008.

JEN, J.J. Influence of spectral quality of light on pigment systems of ripening tomatoes. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 39, p. 907-910, 1974.

JOKINEN, K.; SÄRKKÄ, L.E.; NÄKKILÄ, J. Improving Sweet Pepper Productivity by LED Interlighting. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 956, p. 59-66, 2012.

JONES, Jr., .J.B. **Hydroponics**: A practical guide for the soilless grower. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2005. 419p.

JU, Z.; DUAN, Y.; JU, Z. Effects of covering the orchard floor with reflecting films on pigment accumulation and fruit coloration in 'Fuji' apples. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 82, p. 47-56, 1999.

KOWALCZYK, K.; GAJC-WOLSKA, J.; METERA, A.; MAZUR, K.; RADZANOWSKA, J.; SZATKOWSKI, M. Effect of supplementary lighting on the quality of tomato fruit (*Solanum lycopersicum* l.) in autumn-winter cultivation. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 956, p. 395-401, 2012

LEE, K.S.; KADER, A.A. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 20, p. 207-220, 2000.

LESTER, G.E. Environmental regulation of human health nutrients (ascorbic acid, carotene, and folic acid) in fruits and vegetables. **HortScience**, Alexandria, v. 41, p. 59-64, 2006.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres, 1980. 251p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas.** Piracicaba: POTAFÓS, 1997. 319p.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638p.

MAROUELLI, W.A.; SILVA, W.L.C. **Tensões – limite de água no solo para o cultivo do tomateiro para processamento irrigado por gotejamento.** Brasília: Embrapa Hortaliças, 2008. 17 p.

McCOLLUM, J.P. Effects of light on the formation of carotenoids in tomato fruits. **Journal of Food Science**, v. 19, p. 182-189, 1954.

MENARD, C.; DORAIS, M.; HOVI, T.; GOSSELIN, A. Developmental and physiological responses of tomato and cucumber to additional blue light. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 711, p. 291-294, 2006.

MERZLYAK, M.N.; SOLOVCHENKO, A.E.; CHIVKUNOVA, O.B. Patterns of pigment changes in apple fruits during adaptation to high sunlight and sunscald development. **Plant Physiology and Biochemistry**, Versailles, v. 40, p. 679-684, 2002.

MEURER, E.J. Potássio. In: MANLIO, S.F. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 282-298.

MOURÃO, I.; TEIXEIRA, J.; BRITO, L.M.; FERREIRA, M.E.; MOURA, M.L. Pruning system effect on greenhouse grafted tomato yield and quality. In: ORGANIC WORLD CONGRESS, 2014, Istambul. **Anais…** ISOFAR Scientific Conference,4., 2014. p. 941-944.

PARKS, B.M.; FOLTA, K.M.; SPALDING, E.P. Photocontrol of stem growth. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 4, p. 436-440, 2001.

PETTERSEN, R.I.; TORRE, S.; GISLEROD, H.R. Effects of intracanopy lighting on photosynthetic characteristics in cucumber. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 125, p. 77-81, 2010.

PHILLIPS. **There's more to light**. 2014. 7p. Disponível em: < http://www.lighting.philips.com/pwc_li/main/shared/assets/downloads/pdf/horticulture/leaflets/cl-g-led_interlighting-en.pdf>. Acesso em: 3 nov. 2015.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A. M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: 1997. 279p.

SLIMESTAD, R.; VERHEUL, M. Review of flavonoids and other phenolics from fruits of different tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivars. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Oxford, v. 89, p. 1255-1270, 2009.

SOARES, I.; SOUZA, V.S.; CRISÓSTOMO, L.A.; da SILVA, L.A. Efeito do volume de solução nutritiva na produção e nutrição do tomateiro tipo cereja cultivado em substrato. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 36, p. 152-157, 2005.

SONNEVELD, C. La nutrición mineral y salinidade em los cultivos sin suelo: su manejo. In: GAVILÁN, M.U. **Tratado de cultivo sin suelo**. Madri: Mundi Prensa, 2004. p. 305-367.

SPALDING, E.P.; COSGROVE, D.J. Large plasma-membrane depolarization precedes rapid blue-light-induced growth inhibition in cucumber. **Planta**, Berlin, v. 178, p. 407-410, 1989.

STROHECKER, R.; HENNING, H.M. **Analisis de vitaminas:** métodos comprobados. Madri: Paz Montalvo, 1967. 428p.

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

THOMAS, R.L.; JEN, J.J. Phytochrome-mediated carotenoids biosynthesis in ripening tomatoes. **Plant Physiology**, Stuttgart, v. 56, p. 452-453, 1975.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por se tratar de uma pesquisa pioneira em uma região de transição entre clima tropical e subtropical ou resultados deste estudo servirão de base para futuras pesquisas, podendo ser o ponto de partida para novas investigações.

Baseado nos resultados desse estudo recomenda-se, para aumento de produção, o manejo de minitomate usando suplementação luminosa com barras de LED e sistema de condução com duas hastes. Porém, objetivando a produção de frutos de maior qualidade, recomenda-se o uso de suplementação luminosa com barras de LED e condução de minitomate com quatro hastes;

O presente estudo mostrou que a utilização de barras de LED apresenta viabilidade técnica de cultivo, resultando aumentos produtivos e qualitativos dos frutos de minitomate. Porém, estudos avaliando a viabilidade econômica do uso de barras de LED como fonte de suplementação luminosa são necessários para verificar a viabilidade de uso comercial desta tecnologia no Brasil;

O cultivo de minitomate com quatro hastes apresentou redução na produção de frutos, o que pode estar relacionado ao volume limitado de substrato para o desenvolvimento radicular. Estudos avaliando diferentes volumes de substratos são necessários para elucidar se plantas de minitomate cultivadas com maior número de hastes podem ser tão ou mais produtivas que plantas cultivadas com duas hastes;

O presente estudo mostrou que plantas com quatro hastes foram menos produtivas que os demais sistemas de condução, porém há a necessidade de avaliar diferentes podas de formações de hastes, o que possivelmente pode apresentar resultados distintos dos encontrados neste estudo.

APÊNDICES

Apêndice A – Estufa agrícola onde foi conduzido o experimento

(A) Estufa climatizada; (B) Estrutura de condução das plantas; (C) Barras de suplementação luminosa; (D) Distribuição dos vasos na área; (E) Sistema de irrigação e fertirrigação e (F) Mini estação meteorológica

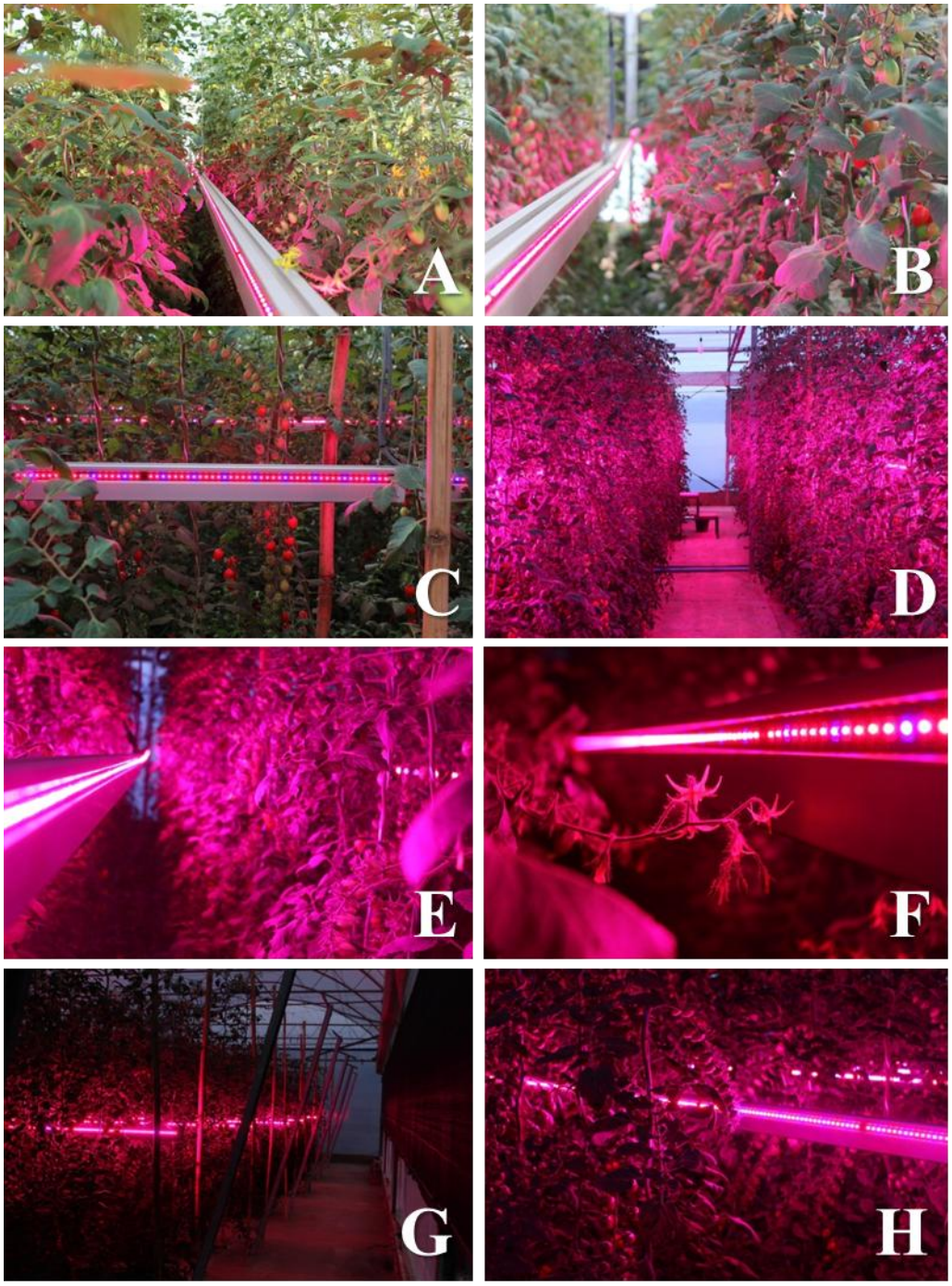
Apêndice B – Mudas de minitomate

(A) e (B) Mudas de minitomate produzidas em bandejas plásticas de 128 células; (C) e (D) mudas transplantada para área de cultivo

Apêndice C – Sistema de irrigação e Fertirrigação

(A) Vaso contendo sensor de umidade e detalhe da capsula porosa do sensor; (B) Vaso contendo duas lanças de gotejamento; (C) Ramificação do sistema de irrigação para linhas de cultivo; (D) Gotejador autocompensante individual por vaso; (E) Irrigas® - sistema gasoso de controle de irrigação; (F) lavagem do substrato; (G) Distribuição do sistema de irrigação na área e (H) Painel de controle, bombas e hidrômetros do sistema de irrigação

Apêndice D – Suplementação luminosa



(A), (B), (C), (D), (E), (F), (G) e (H) Detalhes das barras de suplementação luminosa em diferentes horários

Apêndice E – Formação das hastes

(A) Planta de minitomate antes da poda de formação de hastes (B) Detalhe da primeira e segunda haste e (C) Detalhe da terceira e quarta haste antes da remoção dos brotos provenientes da axila cotiledonar

Apêndice F – Colheita dos frutos

(A) Frutos verdes; (B) Frutos amadurecendo; (C) Frutos no ponto de colheita; (D) Caixas plásticas de colheita e (E) Colheita realizada em caixas plásticas individuais para cada parcela experimental

Apêndice G – Avaliação experimentais

(A) Titulação para obtenção da acidez na polpa de minitomate; (B) Classificação dos frutos por categorias; (C) Frutos preparados para análises qualitativas; (D) Coleta da solução drenada pelos vasos; (E) Refratômetro digital para determinação do teor de sólidos solúveis e (F) Seleção dos frutos para análises experimentais

Apêndice F – Sistema de condução das plantas

(A), (B), (C) e (D) Detalhes da condução das plantas no sistema contínuo

Apêndice G – Estádios de desenvolvimento das plantas de minitomate

(A), (B), (C), (D), (E) e (F) Diferentes estádios de desenvolvimento das plantas de minitomate