

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO - CAMPUS CERES
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM IRRIGAÇÃO NO CERRADO

AUTOMAÇÃO DA IRRIGAÇÃO NO CULTIVO DE TOMATE
CEREJA (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*) SOB
CONTEÚDOS VOLUMÉTRICOS DE ÁGUA NO SOLO

Autor: Hugo de Moura Campos
Orientador: Prof. Dr. Henrique Fonseca Elias de Oliveira
Coorientador: Prof. Dr. Rhuanito Soranz Ferrarezi

CERES - GO
Agosto - 2019

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO - CAMPUS CERES
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM IRRIGAÇÃO NO CERRADO

AUTOMAÇÃO DA IRRIGAÇÃO NO CULTIVO DE TOMATE
CEREJA (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*) SOB
CONTEÚDOS VOLUMÉTRICOS DE ÁGUA NO SOLO

Autor: Hugo de Moura Campos
Orientador: Prof. Dr. Henrique Fonseca Elias de Oliveira
Coorientador: Prof. Dr. Rhuanito Soranz Ferrarezi

Dissertação apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM IRRIGAÇÃO NO CERRADO, no Programa de Pós-Graduação em Irrigação no Cerrado, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Ceres. Área de concentração: Irrigação.

Ceres - GO
Agosto - 2019

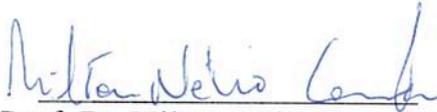
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO – CAMPUS CERES
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM IRRIGAÇÃO NO CERRADO

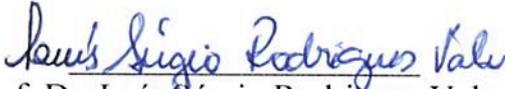
AUTOMAÇÃO DA IRRIGAÇÃO NO CULTIVO DE TOMATE
CEREJA (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*) SOB
CONTEÚDOS VOLUMÉTRICOS DE ÁGUA NO SOLO

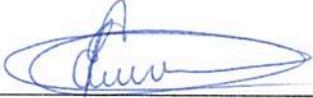
Autor: Hugo de Moura Campos
Orientador: Prof. Dr. Henrique Fonseca Elias de Oliveira
Coorientador: Prof. Dr. Rhuanito Soranz Ferrarezi

TITULAÇÃO: Mestre em Irrigação no Cerrado – Área de Concentração:
Irrigação

APROVADA em 26 de AGOSTO de 2019.


Prof. Dr. Milton Nélio Cometti
Avaliador externo
IFB – Campus Planaltina


Prof. Dr. Luís Sérgio Rodrigues Vale
Avaliador interno
IF Goiano/Campus Ceres


Prof. Dr. Henrique Fonseca Elias de Oliveira
(Orientador)
IF Goiano/Campus Ceres

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

C198a Campos, Hugo de Moura
Automação da irrigação no cultivo de tomate cereja (Solanum lycopersicum var. cerasiforme) sob conteúdos volumétricos de água no solo / Hugo de Moura Campos; orientador Henrique Fonseca Elias de Oliveira; co-orientador Rhuano Soranz Ferrarezi. -- Ceres, 2019.
60 p.

Dissertação (em Mestrado Profissional em Irrigação no Cerrado) -- Instituto Federal Goiano, Campus Ceres, 2019.

1. Solanaceae. 2. Irrigação. 3. Sensores. 4. Arduino. 5. Automação. I. Fonseca Elias de Oliveira, Henrique, orient. II. Soranz Ferrarezi, Rhuano, co-orient. III. Título.

Aos meus pais, Luzia e Justino, por todo amor e carinho.
À minha esposa, Anelise Duarte Souza, por estar comigo em todos os
momentos e por sempre me incentivar.
A toda minha família por me mostrar que sempre é possível sonhar e
realizar.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por sempre guiar meus caminhos e abençoar minha vida, dando-me conhecimento e sabedoria para enfrentar cada momento vivido.

Em especial aos meus pais, Luzia Francisca de Moura Campos e Justino Alves Campos, que estiveram presentes me incentivando, motivando-me e me dando forças para que eu pudesse sonhar, alcançar meus objetivos e por nunca me deixarem desistir.

À minha esposa, Anelise Duarte Souza, pelo amor, carinho e compreensão, por estar ao meu lado, incentivando-me a lutar e alcançar os meus sonhos.

Ao meu irmão Tiago Francisco Campos, por compartilhar tantos momentos de alegria e de dificuldades, mas dando apoio e força para vencer.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Henrique Fonseca Elias de Oliveira, por acreditar em mim, por transformar o mestrado em uma experiência extremamente positiva, orientando-me em todos os momentos, dedicando seu tempo e transmitindo seus conhecimentos. Muito obrigado pela amizade, paciência e pelos ensinamentos que me acompanharão para sempre.

Ao meu coorientador, Prof. Dr. Rhuanito Soranz Ferrarezi, que mesmo estando distante, me ajudou desde o início do projeto.

Ao Instituto Federal Goiano – Campus Ceres por me proporcionar os meios para realizar o curso de Mestrado em Irrigação no Cerrado.

A todos os professores do Curso de Pós-Graduação em Irrigação no Cerrado, em especial ao Dr. Roriz Luciano Machado, Dr. Cleiton Mateus Sousa, Dr. Antonio Evami Cavalcante Sousa e Dr. Luís Sérgio Rodrigues Vale.

Aos amigos conquistados durante o curso de Mestrado, que tiveram paciência para dividirem comigo o conhecimento, sendo muitas vezes professores nas horas difíceis.

Aos bolsistas Jackson Jordão e Lucas Eduardo pelas incansáveis horas dedicadas na execução do projeto, sem a ajuda de vocês certamente eu não conseguiria.

A todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho, muito obrigado.

BIOGRAFIA DO AUTOR

HUGO DE MOURA CAMPOS, filho de Luzia Francisca de Moura Campos e Justino Alves Campos, nasceu em 24 de março de 1984 em Ceres-GO. Em 2003, ingressou no curso de Bacharelado em Sistemas de Informação na Universidade Estadual de Goiás (UEG), tendo recebido no ano de 2006 o título de Bacharel em Sistemas de Informação. Em 2008, iniciou os estudos no curso de Especialização em Redes e Banco de Dados para Web, pela UEG, sendo concluído no ano de 2010. Em 2017, iniciou o curso de Mestrado em Irrigação, no Instituto Federal Goiano - Campus Ceres, Área de concentração: Irrigação. Atualmente, ocupa o cargo de Técnico de Laboratório de Informática no Instituto Federal Goiano - Campus Ceres.

ÍNDICE

	Página
RESUMO GERAL	x
GENERAL ABSTRACT	xi
1. INTRODUÇÃO GERAL	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. Geral	3
2.2. Específicos	3
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	4
CAPÍTULO I – IRRIGAÇÃO AUTOMATIZADA DE BAIXO CUSTO COM ARDUINO	6
RESUMO	6
ABSTRACT	7
1. INTRODUÇÃO	8
2. MATERIAL E MÉTODOS	9
2.1. Automação	9
2.2. Calibração dos sensores	12
2.3. Avaliação do sistema de automação da irrigação.....	13
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
3.1. Calibração dos sensores	15

3.2. Validação do sistema de irrigação automatizado.....	16
4. CONCLUSÃO	17
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	17
CAPÍTULO II: DESEMPENHO AGRONÔMICO DE TOMATE CEREJA SOB CONTEÚDOS VOLUMÉTRICOS DE ÁGUA NO SOLO EM AMBIENTE PROTEGIDO.....	22
RESUMO	22
ABSTRACT	23
1. INTRODUÇÃO	24
2.MATERIAL E MÉTODOS	25
2.1. Detalhes experimentais.....	25
2.2. Crescimento e produtividade.....	27
2.3. Análises químicas.....	27
2.4. Análise estatística.....	28
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
3.1. Dados climáticos	28
3.2. Conteúdo volumétrico de água no solo.....	29
3.3. Análises morfológicas/crescimento.....	31
3.4. Análises de produtividade.....	33
3.5. Análises químicas.....	37
4. CONCLUSÃO	38
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39
4. CONCLUSÃO GERAL	46

ÍNDICE DE TABELAS

Página

CAPÍTULO I

Tabela 1. Componentes e preços (junho 2019) do sistema de automação da irrigação.....	12
---	----

CAPÍTULO II

Tabela 1. Manejo da irrigação durante o ciclo da cultura do tomate cereja em função do CVA. Ceres, GO, 2018/2019.....	30
Tabela 2. Análise de variância para características morfológicas dos híbridos de tomate Sweet Heaven e Mascot F1 em função do CVA, Ceres-GO/Brasil, 2019.....	32
Tabela 3. Desdobramento da interação de MSR (g planta ⁻¹) dos híbridos de tomate Sweet Heaven e Mascot F1 em função do CVA, Ceres-GO/Brasil, 2019.....	33
Tabela 4. Análise de variância para características produtivas dos híbridos de tomate Sweet Heaven e Mascot F1 em função do CVA, Ceres-GO/Brasil, 2019.....	34
Tabela 5. Análise de variância para características químicas dos híbridos de tomate Sweet Heaven e Mascot F1 em função do CVA, Ceres-GO/Brasil, 2019.....	37
Tabela 6. Desdobramento da interação de CA (%) dos híbridos de tomate Sweet Heaven e Mascot F1 em função do CVA, Ceres-GO/Brasil, 2019.....	38

ÍNDICE DE FIGURAS

Página

CAPÍTULO I

Figura 1. Componentes e conexões do sistema de automação da irrigação.....	11
Figura 2. Fluxograma da rotina de operação do sistema de irrigação automatizado.....	14
Figura 3. Equação de calibração dos sensores de umidade do solo, fabricante Decagon Devices, modelo 10HS, Ceres-GO/Brasil, 2019.....	15
Figura 4. Conteúdo volumétrico de água (CVA) e número cumulativo do acionamento do sistema de irrigação automatizado durante o período experimental Ceres-GO/Brasil, 2019.....	16

CAPÍTULO II

Figura 1. Temperatura (A) e umidade relativa do ar (B) no interior da estufa durante o período experimental, Ceres-GO/Brasil 2019.....	29
Figura 2. Diâmetro longitudinal (A) e diâmetro equatorial (B) em função do CVA aos 120 DAT, Ceres-GO/Brasil, 2019.....	34
Figura 3. Produtividade total em função do CVA aos 120 DAT, Ceres-GO/Brasil, 2019.....	35
Figura 5. Sólidos Solúveis (°Brix) em função do CVA aos 120 DAT, Ceres-GO/Brasil, 2019.....	36

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES

Símbolo /Sigla	Significado	Unidade de Medida
%	Porcentagem	
*	Significativo	
°C	Grau Celsius	
AP	Altura de planta	cm
cm	Centímetros	
CVA	Conteúdo Volumétrico de Água	m ³ m ⁻³
DADT	Dias após a diferenciação dos tratamentos	
DAE	Dias após a emergência	
DAT	Dias após transplântio	
DBC	Delineamento em Blocos Casualizados	
DC	Diâmetro de Caule	mm
DE	Diâmetro Equatorial	mm
DL	Diâmetro Longitudinal	mm
ETc	Evapotranspiração da cultura	
EUA	Eficiência no uso da água	
Fig	Figura	
g planta ⁻¹	Gramas por planta	
L h ⁻¹	Litros por hora	
LCD	Liquid Crystal Display	
m	Metro	
m ³	Metro Cúbico	
MFR	Massa fresca de raiz	
mL	Mililitro	
mm	Milímetros	
MSR	Massa seca de raiz	
Nº	Número	
ns	Não significativo	
PRODT	Produtividade Total	t ha ⁻¹
PWM	Pulse Width Modulation	
R\$	Unidade em Reais	
SMS	Short Message Service	
SS	Sólidos solúveis	
USB	Universal Serial Bus	

RESUMO GERAL

CAMPOS, HUGO DE MOURA. Instituto Federal Goiano – Campus Ceres – GO, agosto de 2019. **Automação da irrigação no cultivo de tomate cereja (*Solanum lycopersicum* var. *Cerasiforme*) sob conteúdos volumétricos de água no solo.** Orientador: Dr. Henrique Fonseca Elias de Oliveira. Coorientador: Dr. Rhuanito Soranz Ferrarezi.

Considerado de grande importância econômica no Brasil, o tomate cereja é uma olerícola cultivada em diversas regiões do país devido ao seu alto valor comercial nos mercados nacionais e internacionais. Dado a elevada exigência hídrica do tomateiro, este trabalho teve como objetivo avaliar a influência de diferentes conteúdos volumétricos de água (CVA) em híbridos de tomate cereja, por meio da irrigação controlada e por um sistema automatizado de baixo custo. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados (DBC), com quatro repetições, em parcelas subdivididas no esquema 4 x 2, cujas parcelas foram compostas por quatro CVA (0,23; 0,30; 0,37 e 0,44 m³ m⁻³) e as subparcelas por dois híbridos de tomate cereja (Sweet Heaven e Mascot F1), cultivados em vasos de 12 litros, em ambiente protegido. Os resultados mostraram crescimento linear na produtividade dos tomates cereja, com aumento no rendimento de acordo com o aumento do CVA. A produtividade obtida no CVA de 0,44 m³ m⁻³ foi 346,75% maior que a obtida no de 0,23 m³ m⁻³. A maior eficiência no uso da água (EUA) foi encontrada no tratamento de 0,44 m³ m⁻³. O aumento do estresse hídrico elevou os teores de sólidos solúveis (SS), carotenoides e fenóis totais em ambas as cultivares. A automação com Arduino e sensores de umidade de solo se mostrou eficiente, capaz de monitorar e acionar o sistema de irrigação, mantendo a umidade do solo dentro dos padrões pré-estabelecidos.

PALAVRAS-CHAVE: *Solanaceae*, irrigação, sensores, arduino.

GENERAL ABSTRACT

CAMPOS, HUGO DE MOURA. Goiano Federal Institute – Campus Ceres – GO, August - 2019. **Irrigation automation in the cultivation of cherry tomatoes (*Solanum lycopersicum* var. *Cerasiforme*) under volumetric soil water volumes.** Advisor: PhD Henrique Fonseca Elias de Oliveira. Co-advisor: PhD Rhuanito Soranz Ferrarezi.

Considered of great economic importance in Brazil, tomato is a vegetable grown in several regions of the country due to its high commercial value in national and international markets, being used in salads or as a fruit *in natura*. Given the high water demand of the tomato, this study aimed to evaluate the influence of different volumetric water contents (VWC) on cherry tomato hybrids through irrigation controlled by a low cost automated system. The experimental design was a randomized complete block (RCB) with four replications, in plots subdivided in the 4 x 2 scheme, whose plots consisted of four VWC (0.23, 0.30, 0.37 and 0.44 m³ m⁻³) and the subplots by two cherry tomato hybrids (Sweet Heaven and Mascot F1). The results showed linear growth in the yield of cherry tomatoes, with increase in yield as the CVA increased. The yield obtained in CVA of 0.44 m³ m⁻³ was 346.75% higher than that of 0.23 m³ m⁻³. The highest water use efficiency (WUE) was found in the treatment of 0.44 m³ m⁻³. The increase of water stress increased the soluble solids (SS), carotenoids and total phenols contents in both cultivars. Automation with the Arduino platform and soil moisture sensors proved to be efficient and able to monitor and trigger the irrigation system, keeping the soil moisture within pre-established standards.

Keywords: *Solanaceae*, irrigation, sensors, arduino.

1. INTRODUÇÃO GERAL

O tomateiro é uma hortaliça de grande importância econômica no Brasil, sendo cultivado em diversas regiões do país (Franca et al., 2017). Em 2018, segundo o IBGE (2018), a área plantada foi de 64,6 mil hectares e a produção de 4,5 milhões de toneladas, sendo os maiores produtores os estados de Goiás (32,4%), São Paulo (21,1%), Minas Gerais (16,7%), Bahia (4,5%) e Santa Catarina (4,4%).

Existem variedades de tomates com diversas formas, cores e tamanhos. As variedades conhecidas como cereja são mais vigorosas e possuem níveis de nutrientes mais elevados se comparados às comuns (Figàs et al., 2015). O tomate cereja (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*) é uma olerícola com alto valor comercial nos mercados nacionais e internacionais, podendo ser utilizado em saladas ou consumido sem acompanhamento, como um fruto *in natura* (Aguiar et al., 2012; EMBRAPA, 2012; Nabnean et al., 2016).

Visando melhorar a produtividade, a qualidade dos produtos agrícolas e oferecer regularidade na produção, o cultivo de tomate em ambiente protegido tem se expandido nos últimos anos (Carvalho e Tessarioli Neto, 2005). Esse tipo de cultivo busca a proteção das plantas contra elevadas temperaturas e alta intensidade de radiação solar, durante todo o ciclo (Reis et al., 2013).

O tomateiro é uma das olerícolas mais exigentes em água, sendo o fruto maduro composto por cerca de 95% de água (Santana et al., 2011). Logo, a qualidade de frutos de tomate pode sofrer influência de fatores como irrigação, técnicas de cultivo empregado ou combinação entre eles (Santiago et al., 2019).

Segundo Reis et al. (2009), a água é o fator mais importante a ser considerado para maximizar a produção e melhorar a qualidade dos produtos agrícolas. Entretanto, sua eficiência consiste em oferecer a quantidade certa no momento adequado requerido pela planta.

Muitos produtores realizam a irrigação e o gerenciamento da água com base apenas em sua experiência (Ya-dan et al., 2017). Assim, visando auxiliar o produtor na tomada de decisão, sistemas automatizados podem ser utilizados para o controle da irrigação, porque proporcionam economia de energia e água (Moraes et al., 2014).

Dentre os dispositivos que possibilitam a criação de projetos de automação, o Arduino tem se destacado, pois possui um microcontrolador capaz de desenvolver inúmeras aplicações de controle e automação, além de hardware e software de fácil utilização, compatível com diversos sistemas operacionais (Cunha e Da Rocha, 2015).

O sistema automatizado deve ser capaz de reagir às mudanças no seu ambiente. Por isso, são usados sensores que se caracterizam como o mecanismo de comunicação entre o sistema computacional e o usuário/ambiente (Cunha e Da Rocha, 2015).

Sensores capacitivos estão em crescente utilização na medição da umidade do solo. Trata-se de métodos de determinação de umidade não destrutivos, uma vez que fornecem medições quase instantâneas, além de poder permanecer no solo durante um longo período (Freitas et al., 2012; Souza et al., 2016). As informações coletadas pelos sensores são fundamentais para o manejo racional da água e recursos energéticos (Pizetta et al., 2017).

Atualmente, os sistemas de irrigação modernos são munidos de equipamentos de alta tecnologia e precisão para monitorar e controlar diversas variáveis ambientais que garantam o desenvolvimento da cultura, porém são de alto custo e difícil acesso ao pequeno produtor (Reis, 2015).

Neste sentido, faz-se necessário a busca por tecnologias de baixo custo de modo que facilite o seu acesso aos produtores e demais usuários.

2. OBJETIVOS

2.1. Geral

Avaliar as características de crescimento e produtivas de dois híbridos de tomate cereja, cultivados em ambiente protegido, sob diferentes conteúdos volumétricos de água (CVA) no solo.

2.2. Específicos

- Desenvolver uma central de automação de baixo custo para automatizar sistemas de irrigação.
- Programar a central para analisar os dados coletados pelos sensores e controlar o acionamento dos equipamentos hidráulicos tais como bomba e válvulas solenoides.
- Determinar o CVA que resulte em maior produtividade e proporcione maior eficiência de uso da água.

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguiar, F.P.C., Abrahão, R.M.S., Anjos, V.D.A., Benato, E.A., 2012. Determinação da vida útil de tomate tipo cereja e “sweet grape” 66, 26–34. Embrapa. 2012. Disponível em: <http://www.cnpma.embrapa.br/eventos/2012/ciic/cd_anais/Artigos/re12218.pdf>. Acesso em: 12 de novembro de 2018.

Carvalho, L.A. de, Tessarioli Neto, J., 2005. Produtividade de tomate em ambiente protegido, em função do espaçamento e número de ramos por planta. *Hortic. Bras.* 23, 986–989. <https://doi.org/10.1590/s0102-05362005000400025>

Cunha, K.C.B., Da Rocha, R.V., 2015. Automação No Processo De Irrigação Na Agricultura Familiar Com Plataforma Automation in Irrigation Process in Family. *Rev. Electron. Competencias Digit. para Agric. Fmiliar* 01, 62–74.

EMBRAPA, 2012. Cores E Sabores. Hortaliças em Rev. 2.

Franca, R.J., Leitão, M. de M.V.B.R., Campeche, F. de S.M., 2017. Produtividade do tomate cereja em ambiente protegido e céu aberto em função das lâminas e intermitências de irrigação 7679, 1364–1370. <https://doi.org/10.7127/rbai.v11n200628>

Freitas, W.A. de, Carvalho, J. de A., Braga, R.A., Andrade, M.J.B. de, 2012. Manejo da irrigação utilizando sensor da umidade do solo alternativo. *Rev. Bras. Eng. Agrícola e Ambient.* 16, 268–274. <https://doi.org/10.1590/s1415-43662012000300006>

IBGE, 2018. Agropecuária Estatística da produção agrícola 81.

Figàs, M. R., Prohens, J., Raigón, M. D., Córdova, P. F. de, & Soler, A. F. S. (2015). Characterization of a collection of local varieties of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) using conventional descriptors and the high-throughput phenomics tool Tomato Analyzer. 189–204. <https://doi.org/10.1007/s10722-014-0142-1>

- Moraes, M.J., Filho, D.O., Mantovani, E.C., Monteiro, P.M.B., Mendes, A.L.C., Damião, J.H.A.C., 2014. Automação em sistema de irrigação tipo pivô central para economia de energia elétrica 1075–1088.
- Nabnean, S., Janjai, S., Thepa, S., Sudaprasert, K., Songprakorp, R., Bala, B.K., 2016. Experimental performance of a new design of solar dryer for drying osmotically dehydrated cherry tomatoes. *Renew. Energy* 94, 147–156. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.03.013>
- Pizetta, S.C., Rodrigues, R.R., Pereira, G.M., Pacheco, F. enrique D., Viola, M.R., Lima, L.A., 2017. Calibração de um sensor capacitivo para estimativa da umidade em três classes de solos 458–468.
- Reis, J.S., 2015. Sistema de controle aplicado à automação de irrigação agrícola 73.
- Reis, L.S., Azevedo, C.A.V. de, Albuquerque, A.W., S. Junior, J.F., 2013. Índice De Área Foliar E Produtividade Do Tomate Sob Condições De Ambiente Protegido. *Rev. Bras. Eng. Agrícola e Ambient.* 17, 386–391. <https://doi.org/10.1590/s1415-43662013000400005>
- Reis, L.S., Souza, J.L. de, Azevedo, C.A.V. De, 2009. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo do tomate caqui cultivado em ambiente protegido 1 Evapotranspiration and crop coefficient of Kaki tomato cultivated in greenhouse 289–296.
- Santana, M.J. de, Pereira, U. da C., Beirigo, J.D.C., Souza, S.S. de, Campos, T.M., Vieira, T.A., 2011. Coeficientes de cultura para o tomateiro irrigado Márcio José de Santana¹; Uander da Costa Pereira²; José Daniel Cambraia Beirigo²; Stefany Silva de Souza³; Talita Melo Campos 4 ; Thiago Assumpção Vieira 4. *Irriga* 16, 11–20.
- Santiago, E.J.P., Oliveira, G.M. de, Leitão, M. de M.V.B.R., Rocha, R.D.C., Pereira, A.V.A., 2019. Qualidade do tomate cereja cultivado sob lâminas de irrigação em ambiente protegido e campo aberto. *Agrometeoros* 26, 213–221. <https://doi.org/10.31062/agrom.v26i1.26343>
- Souza, C.F., Silva, C.R., Júnior, A.S. de A., Coelho, E.F., 2016. Monitoramento do teor de água no solo em tempo real com as técnicas de tdr e fdr 26–42.
- Ya-dan, D.U., Hong-xia, C.A.O., Shi-quan, L.I.U., Xiao-bo, G.U., Yu-xin, C.A.O., 2017. Response of yield , quality , water and nitrogen use efficiency of tomato to different levels of water and nitrogen under drip irrigation in Northwestern China. *J. Integr. Agric.* 16, 1153–1161. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(16\)61371-0](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(16)61371-0)

CAPÍTULO I - AUTOMAÇÃO DE BAIXO CUSTO PARA IRRIGAÇÃO COM ARDUINO

(Normas de acordo com a revista Scientia Horticulturae)

RESUMO

A escassez de água é uma realidade em todo o planeta. A agricultura irrigada é considerada a maior responsável pela utilização de água doce. Existe, portanto, uma necessidade de desenvolver tecnologias que auxiliem na utilização da água de maneira mais eficiente e ambientalmente correta. Dentre tais tecnologias, destacam-se, atualmente, a utilização de plataformas de baixo custo e sensores capacitivos, capazes de monitorar o conteúdo volumétrico de água no solo (CVA) em tempo real, permitindo o fornecimento de água para a planta na quantidade e momento exatos. Neste sentido, o este trabalho teve como objetivo automatizar um sistema de irrigação por gotejamento, utilizando a plataforma de baixo custo Arduino e sensores de umidade do solo. Avaliou-se o comportamento do sistema em dois híbridos de tomate cereja para verificar o efeito de quatro CVA (0,23; 0,30; 0,37 e 0,44 m³ m⁻³). O sistema de irrigação foi monitorado pelos sensores de umidade do solo (10HS; Decagon Devices, Pullman, WA) conectados a uma placa Arduino Mega ADK, acionado através de relés conectados a motobomba. Os resultados indicam que a automação com sensores de umidade de solo e Arduino é capaz de monitorar o CVA do solo e controlar o sistema de irrigação, mostrando-se como uma ferramenta para aumentar a eficiência de uso da água na irrigação.

Palavras-chave: Automação, irrigação, sensores, arduino.

CHAPTER I - LOW COST AUTOMATION FOR ARDUINO IRRIGATION

(Normas de acordo com a revista Scientia Horticulturae)

ABSTRACT

Water scarcity is a reality all over the planet. The irrigated agriculture is considered to be largely responsible for the use of freshwater. There is therefore a need to develop technologies that assist in the use of water in a more efficient and environmentally sound manner. These technologies currently include the use of low-cost platforms and capacitive sensors, capable of monitoring the volumetric soil water content (CVA) in real time, allowing the supply of water to the plant at the exact amount and momentum. In this sense, this work aimed to automate a drip irrigation system using the low cost Arduino platform and soil moisture sensors. The behavior of the system in two cherry tomato hybrids was evaluated to verify the effect of four CVA (0.23; 0.30; 0.37 and 0.44 m³ m⁻³). The irrigation system was monitored by the soil moisture sensors (10HS; Decagon Devices, Pullman, WA) connected to an Arduino Mega ADK board and powered by motor pump relays. The results indicate that automation with soil moisture sensors and Arduino is able to monitor soil CVA and control the irrigation system, proving to be a tool to increase water use efficiency in irrigation.

Keywords: Automation, irrigation, sensors, arduino.

1. INTRODUÇÃO

A agricultura é considerada a maior responsável pela utilização de água doce no mundo, consumindo cerca de 70% desse recurso (FAO, 2017). Com o crescimento da população mundial, associado à crescente demanda por alimentos, a escassez de água tornou-se sério fator limitante para o desenvolvimento agrícola e econômico mundial (Gao et al., 2018).

Diante dessa necessidade de preservação dos recursos hídricos, sistemas que auxiliam na tomada de decisão para irrigação e conservação da água são usados constantemente, pois visam minimizar o consumo de água e maximizar o rendimento da cultura (Mendes et al., 2019). No entanto, atualmente, a maioria dos sistemas de irrigação automatizados funciona com base em temporizadores, em que o turno de rega é baseado em calendário pré-determinado, podendo resultar em estresse hídrico ou excesso de água (Ferrarezi et al., 2014).

Assim, nos últimos anos, pesquisadores têm buscado analisar e implementar sistemas que controlam a irrigação em tempo real, uma vez que essas tecnologias demonstraram resultados positivos, economizando grande quantidade de água (Lozoya et al., 2016). No campo da irrigação automatizada, pode-se utilizar as medições de variáveis do solo, da planta e da atmosfera, relacionadas ao estado da água na planta e no solo e, com base nessas informações, calcular quando realizar a próxima irrigação (Romero et al., 2012).

As informações referentes às variáveis inerentes ao processo de automação, em sua maioria, são coletadas por meio de sensores, os quais empregam diferentes tecnologias para obtenção dos dados. Dentre os sensores utilizados nas medições de variáveis do solo, destacam-se os que possuem a tecnologia de domínio de capacitância/frequência que são capazes de monitorar o conteúdo volumétrico de água (CVA) com base em medições em tempo real (Ferrarezi e van Iersel, 2011).

Esses sensores são utilizados em conjunto com controladores automáticos, necessários para o acionamento do sistema que regulam o conteúdo de água do solo com base nas medições do sensor. Os controladores acionam a irrigação quando os sensores detectam que as medições estão abaixo de um limite pré-definido e continuam atuando até que esse limite seja superado (Romero et al., 2012).

Embora os sistemas de irrigação automatizados possam fazer uso mais eficiente da água, eles, muitas vezes, necessitam de dataloggers de alta precisão e computadores, o que faz com que se tornem mais caros (Ferrarezi et al., 2015; Goap et al., 2018), podendo inviabilizar o uso dessa tecnologia por grande parte dos produtores.

Buscando minimizar os custos relativos à automação dos sistemas de irrigação, pesquisadores têm se dedicado ao estudo de tecnologias de baixo custo que possibilitem a automação, mantendo a eficiência e a robustez do sistema (Fisher e Gould, 2012; Bitella et al., 2014; Ferrarezi et al., 2015; Masseroni et al., 2015; Bodunde et al., 2019).

Assim, os objetivos deste estudo foram: 1) desenvolver uma central de automação de baixo custo para controle da irrigação; 2) automatizar o sistema com a utilização de sensores de umidade do solo; 3) avaliar a eficiência do sistema no cultivo de tomate cereja, irrigado por gotejamento.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Automação

O sistema de automação da irrigação foi constituído de uma placa Arduino Mega ADK em conjunto com os seguintes módulos: leitor de cartão micro SD (Micro SD Card Adapter), relógio em tempo real (Real Time Clock RTC DS3231), relé serial 12 VDC com 4 relés (Relé Serial Robocore), display de cristal líquido (LCD 20x4) e módulo de envio de mensagens SMS (GSM GPRS Shield para Arduino EFCOM SIM900).

Foram utilizadas quatro válvulas solenoides de 24V e 3/4" (Rain Bird 100-hvf) e quatro sensores de umidade do solo (10HS; Decagon Devices, Pullman, WA). A central de automação possui sensor de umidade e temperatura do ar (AM2302 DHT 22), a fim de monitorar as condições climáticas no interior do ambiente protegido durante o período experimental.

A placa Arduino utilizada, Mega ADK, projetada com um microcontrolador ATmega2560, possui uma interface de barramento serial USB e tensão de funcionamento de 5V (podendo ser alimentado tanto pelo conector USB tipo A, quanto por uma fonte externa de 7 à 12V), além de 54 pinos de entradas e saídas digitais, dos quais 14 podem ser utilizados como saídas PWM e 16 entradas analógicas.

O programa para a central de automação foi desenvolvido com a utilização do software Arduino IDE [versão 1.8.5], de código aberto e enviado diretamente para a placa por meio de um cabo USB.

Os sensores de umidade do solo 10HS foram instalados verticalmente na camada intermediária do substrato, armazenado em vasos de 12 litros (dimensões: 23,5 cm de altura, 27 cm de largura parte superior e 23,5 cm na base), composto por solo e areia, na proporção de 2:1.

As leituras dos sensores eram realizadas em intervalos fixos de 30 minutos. O sistema de irrigação era acionado automaticamente quando o CVA do substrato apresentava valores abaixo dos limites pré-estabelecidos (0,23; 0,30; 0,37 e 0,44 m³ m⁻³), permanecendo ligado por 60 segundos, aplicando, dessa forma, um volume de água de 33 mL, correspondente a uma lâmina de água de 0,60 mm.

A capacidade de armazenamento de dados do Arduino Mega ADK é bastante restrita, portanto, utilizou-se um módulo de leitor de cartão micro SD (Micro SD Card Adapter) como dispositivo de armazenamento de dados. Para manter o registro de data e hora

sempre atualizados, mesmo com o microcontrolador desligado, um módulo de relógio de tempo real (Real Time Clock RTC DS3231), com bateria de lítio modelo CR2032 (3V), foi conectado à placa.

As conexões do sistema de automação e a lista de componentes, com valores, podem ser observadas na Fig. 1 e tabela 1, respectivamente.

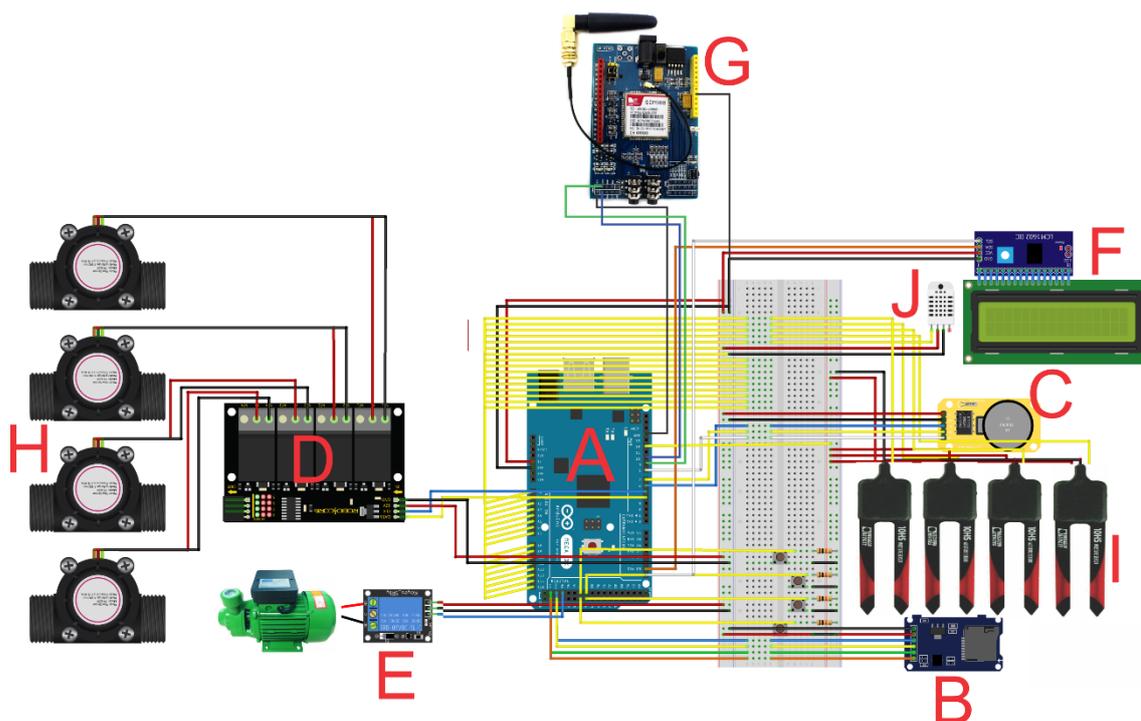


Fig. 1. Componentes e conexões do sistema de automação da irrigação, Ceres-GO/Brasil 2019. Arduino Mega ADK (A); Micro SD Card Adapter (B); Real Time Clock RTC DS3231 (C); Módulo Relé Serial Robocore 12V, 4 canais (D); Módulo Relé 5V, 1 canal (E); Display de Cristal Líquido, LCD 20x4 (F); GSM GPRS Shield para Arduino ECom SIM900 (G); Válvulas solenoides de 24V e 3/4" Rain Bird 100-hvf (H); Sensores de umidade do solo, modelo 10HS, Decagon Devices, Pullman, WA (I); Sensor de umidade e temperatura do ar, AM2302 DHT 22 (J).

Para o acionamento das quatro válvulas solenoides e do conjunto motobomba monofásico de 1/2 cv, marca Maqtron, modelo IDB – 35, utilizou-se um módulo Serial Relé (Relé Serial Robocore), com quatro canais, e um módulo Relé (JQC 3FF SZ 5V), com um canal. Os módulos relés eram alimentados por uma tensão de 12V e 5V, respectivamente.

As informações dos sensores de umidade do solo, umidade do ar e temperatura eram exibidas no display LCD por meio de um menu e armazenadas no cartão de memória. Semanalmente, esses dados eram descarregados no computador para fins de análise de comportamento do sistema, que auxiliavam o monitoramento, um SMS era enviado para o celular cadastrado no sistema informando o status da irrigação.

Tabela 1

Componentes e preços do sistema de automação da irrigação, Ceres-GO/Brasil, 2019.

Quantidade	Hardware	Preço (R\$)
1	Arduino Mega ADK	314,90
1	Micro SD Card Adapter	9,95
1	Real Time Clock RTC DS3231	59,70
1	Módulo Relé Serial Robocore 12V (4 canais)	49,00
1	Módulo Relé 5V (1 canal)	9,90
1	Display de cristal líquido (LCD 20x4)	54,50
1	GSM GPRS Shield para Arduino EFCOM SIM900 + Antena	319,00
4	Válvulas solenoides de 24 v e 3/4" Rain Bird 100-hvf	534,00
1	Módulo DHT22 AM2302	37,90
1	Cartão de Memória MicroSD 16GB Classe 10	69,00
1	Fonte de Alimentação 9VDC 1A	17,90
1	Fonte Chaveada 24v 10a	70,00
1	Quadro Sistema Vdi 30x30 de embutir	120,00
Fiação		
1	Jumper Premium Fêmea-Fêmea 30cm - Kit com 20 peças	12,90
1	Jumper Premium Macho-Macho 30cm - Kit com 20 peças	15,90
SUBTOTAL		1.694,55
4	Sensores de umidade do solo 10HS	4.022,00
SUBTOTAL		4.022,00
TOTAL		5.716,55

2.2. Calibração dos sensores

O Meter Group, fabricante dos sensores, disponibiliza equação de calibração genérica para substratos, mas em virtude dos sensores determinarem o CVA no solo de forma indireta, é imprescindível a realização de calibrações para os solos monitorados, em razão

das diferenças físicas que apresentam (Miralles-Crespo e Van Iersel, 2011; Barbosa et al., 2012; Van Iersel et al., 2013; Tang et al., 2019).

Dessa maneira, os sensores foram submetidos à calibração específica para o substrato, a fim de converter as leituras do sensor de umidade do solo, modelo 10HS, expresso em valor inteiro de 0 a 1023, para CVA, expresso em $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$.

O método de calibração utilizado seguiu a metodologia descrita por Cobos e Chambers (2010). Foram coletados 10 litros de substrato, com secagem em estufa de circulação forçada a 65°C por 48h. O substrato foi dividido em oito amostras de um litro, colocado em sacos plásticos selados (Ziploc), com capacidade para 3,78 litros. A cada amostra, foi adicionado um volume específico de água (0, 50, 100, 200, 300, 400, 500 e 600 mL) que, após a homogeneização, foram transferidos para béqueres de um litro.

A leitura do CVA, em cada béquer, foi realizada por três sensores 10HS e calculado o valor médio. Utilizou-se o método padrão de estufa, mantendo as amostras em estufa de circulação forçada por 72h a 65°C . Após esse período, as amostras foram pesadas novamente e, com o cálculo da umidade gravimétrica, determinou-se a equação de umidade ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) em função da leitura dos sensores.

2.3. Avaliação do sistema de automação da irrigação

Visando avaliar o desempenho do sistema de irrigação automatizado, implantou-se um experimento composto por 128 plantas de tomate cereja, cultivadas em vasos de 12 litros, contendo substrato composto por solo de barranco e areia, na proporção 2:1. As plantas foram cultivadas em casa de vegetação e irrigadas por sistema de gotejamento, com gotejadores autocompensantes e vazão de 2 L h^{-1} , instalados um por vaso.

Os tratamentos consistiram em quatro conteúdos volumétricos de água (CVA) (0,23; 0,30; 0,37 e $0,44 \text{ m}^3 \text{m}^{-3}$) e duas cultivares de tomate cereja (Sweet Heaven e Mascot

F1) (4×2), em um delineamento em blocos casualizados (DBC), analisado em esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições.

Seguindo metodologia de Casaroli e De Jong van Lier (2008) e Agbna et al. (2017), antecedendo o transplante, a umidade dos substratos foi elevada à umidade da capacidade do vaso, correspondente, nesse caso, a $0,37 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. O conteúdo volumétrico de água nos vasos foi mantido durante a aclimatização das plantas, que precedeu a diferenciação dos tratamentos, realizada aos 12 dias após o transplante (DAT).

Para o manejo da irrigação, adotou-se os conteúdos volumétricos de água de 0,23; 0,30; 0,37 e $0,44 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. O funcionamento do sistema foi semelhante ao proposto por Ferrarezi et al. (2015), conforme mostrado no fluxograma da Fig. 2.

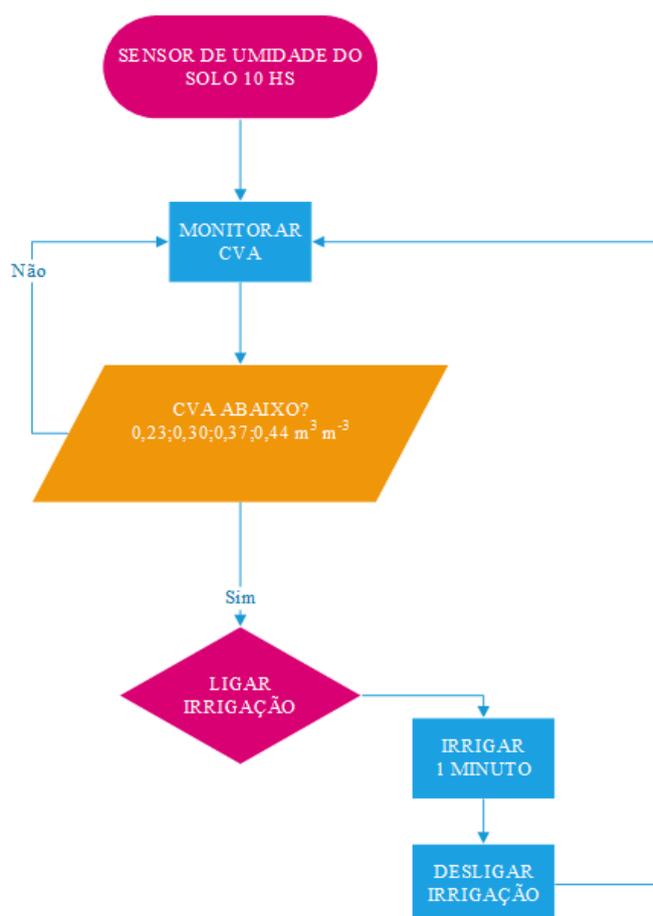


Fig. 2. Fluxograma da rotina de operação do sistema de irrigação automatizado, Ceres-GO/Brasil, 2019.

O sistema de irrigação automatizado realizou frequentes irrigações para manter o CVA próximo dos limites pré-estabelecidos, monitorando o CVA no intervalo de tempo de 30 minutos e aplicando uma lâmina de água de 0,60 mm a cada acionamento do sistema.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Calibração dos sensores

A Fig. 3 apresenta os valores de CVA em função das leituras dos sensores de umidade do solo.

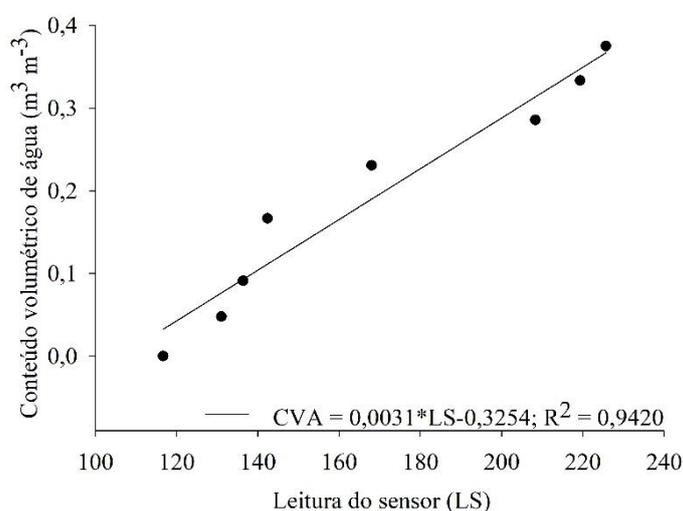


Fig. 3. Equação de calibração dos sensores de umidade do solo, fabricante Decagon Devices, modelo 10HS, Ceres-GO/Brasil, 2019.

Pode-se observar na Fig. 2 que a relação entre a leitura do sensor de umidade do solo e o CVA apresentou tendência linear crescente do menor para o maior valor de CVA, com R^2 da equação igual a 94,20%. Pizetta (2015), trabalhando na calibração de sensores de capacitância em diferentes substratos, obteve R^2 de 93%.

Dessa forma, vários pesquisadores (Belayneh et al., 2013; Spelman et al., 2013; Visconti et al., 2014; Pizetta, 2015; Parvin e Degré, 2016; Shan et al., 2019), estudando

calibração de sensores 10HS, específicas para diferentes substratos, encontraram ajustes lineares para a equação de calibração.

3.2. Validação do sistema de irrigação automatizado

Para obtenção do volume total de água aplicado por tratamento, realizou-se o cálculo a partir do número de eventos de irrigação e do volume de água aplicado a cada acionamento. A quantidade de irrigação e, conseqüentemente, o volume total de água aplicado no experimento, elevou-se em função dos maiores valores de CVA. Resultados semelhantes foram descritos por Naasz et al. (2005), ao avaliar propriedades hidráulicas em diferentes substratos.

A Fig. 4 demonstra o comportamento do CVA, assim como o número cumulativo de acionamento do sistema de irrigação durante todo o período experimental.

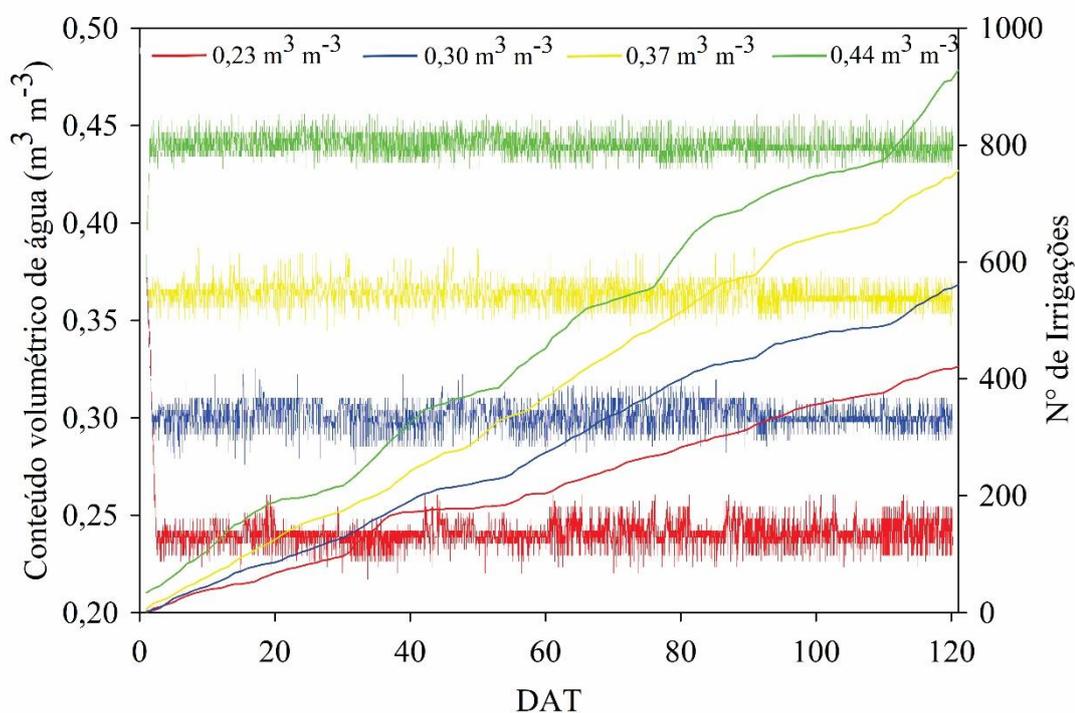


Fig. 4. Conteúdo volumétrico de água (CVA) e número cumulativo de acionamentos do sistema de irrigação automatizado durante o período experimental, Ceres-GO/Brasil, 2019.

Conforme observado na Fig. 4, aos 03 dias após a diferenciação dos tratamentos (DADT), todos atingiram os valores pré-estabelecidos de CVA (0,23; 0,30; 0,37 e 0,44 m³ m⁻³).

O tratamento com CVA de 0,44 m³ m⁻³ foi acionado com mais frequência, aplicando uma lâmina total de 572,12 mm em função dos 944 acionamentos durante o período experimental. Em contrapartida, o tratamento com CVA de 0,23 m³ m⁻³ aplicou 258,79 mm, correspondente a 427 acionamentos.

O número de irrigações diferiu entre os tratamentos, e as flutuações de CVA foram, geralmente, maiores nos tratamentos com os menores limites, o que, de acordo com Naasz et al. (2005), deve-se ao fato de haver menor condutividade hidráulica. Resultados semelhantes foram observados por Garland et al. (2012), Bayer et al. (2013) e Ferrarezi et al. (2015).

4. CONCLUSÃO

A automação com Arduino e sensores de umidade de solo se mostrou eficiente e capaz de monitorar e acionar o sistema de irrigação, mantendo a umidade do solo dentro dos padrões pré-estabelecidos.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agbna, G.H.D., Dongli, S., Zhipeng, L., Elshaikh, N.A., Guangcheng, S., Timm, L.C., 2017. Effects of deficit irrigation and biochar addition on the growth, yield, and quality of tomato. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*. 222, 90–101. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.05.004>

Barbosa, M.A.G., Figueiredo, V.B., Medeiros, J.F. De, Carvalho, B.L. De, 2012. Calibração De Sensor Fdr Ech2O Para Fdr Ech 2 O Sensor Calibration for the Determination of Moisture in.

Bayer, A., Mahbub, I., Chappell, M., Ruter, J., van Iersel, M.W., 2013. Water use and growth

of *Hibiscus acetosella* “Panama Red” grown with a soil moisture sensor-controlled irrigation system. *HortScience* 48, 980–987. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.48.8.980>

Belayneh, B.E., Lea-Cox, J.D., Lichtenberg, E., 2013. Costs and benefits of implementing sensor-controlled irrigation in a commercial pot-in-pot container nursery. *Horttechnology* 23, 760–769. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.23.6.760>

Bitella, G., Rossi, R., Bochicchio, R., Perniola, M., Amato, M., 2014. A Novel Low-Cost Open-Hardware Platform for Monitoring Soil Water Content and Multiple Soil-Air-Vegetation Parameters 19639–19659. <https://doi.org/10.3390/s141019639>

Bodunde, O.P., Adie, U.C., Ikumapayi, O.M., Akinyoola, J.O., Aderoba, A.A., 2019. Architectural design and performance evaluation of a ZigBee technology based adaptive sprinkler irrigation robot. *Comput. Electron. Agric.* 160, 168–178. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.03.021>

Casaroli, D., De Jong van Lier, Q., 2008. Critérios para determinação da capacidade de vaso. *Rev. Bras. Cienc. do Solo* 32, 59–66.

Cobos, D.R., Chambers, C. Calibrating ECH2O Soil Moistur Sensors. Disponível em: <https://www.metergroup.com/environment/articles/how-calibrate-soil-moisture-sensors/>.

Acesso em: 07 de setembro de 2018.

FAO, 2017. The future of food and agriculture: trends and challenges, Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://doi.org/10.4161/chan.4.6.12871>

Ferrarezi, R., van Iersel, M.W., 2011. Monitoring and Controlling Subirrigation with Soil Moisture Sensors: A Case Study with Hibiscus. *SNA Res. Conf.* 56, 187–191.

Ferrarezi, R.S., Dove, S.K., Van Iersel, M.W., 2015. An automated system for monitoring soil moisture and controlling irrigation using low-cost open-source microcontrollers. *Horttechnology* 25, 110–118.

Ferrarezi, R.S., Iersel, M.W. van, Testezlaf, R., 2014. Subirrigation automated by capacitance sensors for salvia production. *Hortic. Bras.* 32, 314–320. <https://doi.org/10.1590/s0102-05362014000300013>

Fisher, D.K., Gould, P.J., 2012. Open-Source Hardware Is a Low-Cost Alternative for Scientific Instrumentation and Research. *Mod. Instrum.* 01, 8–20. <https://doi.org/10.4236/mi.2012.12002>

Gao, X., Huo, Z., Xu, X., Qu, Z., Huang, G., Tang, P., Bai, Y., 2018. Shallow groundwater plays an important role in enhancing irrigation water productivity in an arid area: The perspective from a regional agricultural hydrology simulation. *Agric. Water Manag.* 208, 43–58. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.06.009>

Garland, K.F., Burnett, S.E., Day, M.E., van Iersel, M.W., 2012. Influence of Substrate Water Content and Daily Light Integral on Photosynthesis, Water Use Efficiency, and Morphology of *Heuchera americana*. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 137, 57–67. <https://doi.org/10.21273/jashs.137.1.57>

Goap, A., Sharma, D., Shukla, A.K., Rama Krishna, C., 2018. An IoT based smart irrigation management system using Machine learning and open source technologies. *Comput. Electron. Agric.* 155, 41–49. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.09.040>

Lozoya, C., Mendoza, C., Aguilar, A., Román, A., Castelló, R., 2016. Sensor-Based Model Driven Control Strategy for Precision Irrigation. *J. Sensors* 2016, 1–12. <https://doi.org/10.1155/2016/9784071>

Masseroni, D., Facchi, A., Vannutelli Depoli, E., Maria Renga, F., Gandolfi, C., 2015. Water saving at the field scale with Irrig-OH , an open-hardware environment device for soil water potential monitoring and irrigation management. *Wiley Online Libr.* 17, 12447.

Mendes, W.R., Araújo, F.M.U., Dutta, R., Heeren, D.M., 2019. Fuzzy control system for

variable rate irrigation using remote sensing. *Expert Syst. Appl.* 124, 13–24.
<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2019.01.043>

Miralles-Crespo, J., van Iersel, M.W., 2011. A calibrated time domain transmissometry soil moisture sensor can be used for precise automated irrigation of container-grown plants. *HortScience* 46, 889–894. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.46.6.889>

Naasz, R., Michel, J.-C., Charpentier, S., 2005. Measuring Hysteretic Hydraulic Properties of Peat and Pine Bark using a Transient Method. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 69, 13. <https://doi.org/10.2136/sssaj2005.0013>

Parvin, N., Degré, A., 2016. Soil-specific calibration of capacitance sensors considering clay content and bulk density. *Soil Res.* 54, 111. <https://doi.org/10.1071/sr15036>

Pizetta, S.C., 2015. Calibração De Sensores De Capacitância (Fdr) Para Estimativa Da Umidade Em Diferentes Solos.

Romero, R., Muriel, J.L., García, I., Muñoz de la Peña, D., 2012. Research on automatic irrigation control: State of the art and recent results. *Agric. Water Manag.* 114, 59–66. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2012.06.026>

Shan, G., Sun, Y., Zhou, H., Schulze Lammers, P., Grantz, D.A., Xue, X., Wang, Z., 2019. A horizontal mobile dielectric sensor to assess dynamic soil water content and flows: Direct measurements under drip irrigation compared with HYDRUS-2D model simulation. *Biosyst. Eng.* 179, 13–21. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2018.12.007>

Spelman, D., Kinzli, K.-D., Kunberger, T., 2013. Calibration of the 10HS Soil Moisture Sensor for Southwest Florida Agricultural Soils. *J. Irrig. Drain. Eng.* 139, 965–971. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)ir.1943-4774.0000647](https://doi.org/10.1061/(asce)ir.1943-4774.0000647)

Tang, Y., Zhang, F., Wang, S., Zhang, X., Guo, S., Guo, P., 2019. A distributed interval nonlinear multiobjective programming approach for optimal irrigation water management in

an arid area. *Agric. Water Manag.* 220, 13–26. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.03.052>

Van Iersel, M.W., Chappell, M., Lea-Cox, J.D., 2013. Sensors for improved efficiency of irrigation in greenhouse and nursery production. *Horttechnology* 23, 735–746.

Visconti, F., de Paz, J.M., Martínez, D., Molina, M.J., 2014. Laboratory and field assessment of the capacitance sensors Decagon 10HS and 5TE for estimating the water content of irrigated soils. *Agric. Water Manag.* 132, 111–119. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.10.005>

CAPÍTULO II - DESEMPENHO AGRONÔMICO DE TOMATE CEREJA SOB CONTEÚDOS VOLUMÉTRICOS DE ÁGUA NO SOLO EM AMBIENTE PROTEGIDO

(Normas de acordo com a revista Scientia Horticulturae)

RESUMO

O tomateiro é uma cultura com grande exigência hídrica, o que aumenta a necessidade de estudos sobre estratégias de otimização de uso da água. Assim, neste estudo foram avaliados os efeitos dos níveis de reposição hídrica, com manutenção de diferentes conteúdos volumétricos de água no solo (CVA), no crescimento de tomate cereja. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados (DBC), em parcelas subdivididas, no esquema 4 x 2, cujas parcelas foram compostas por quatro CVA (0,23; 0,30; 0,37 e 0,44 m³ m⁻³) e as subparcelas por dois híbridos de tomate (Sweet Heaven e Mascot F1), com quatro repetições. Os resultados mostraram crescimento linear na produtividade dos tomates cereja. A produtividade obtida no CVA de 0,44 m³ m⁻³ foi 305,53% superior à obtida no de 0,23 m³ m⁻³. O aumento do estresse hídrico elevou os teores de sólidos solúveis (SS) em ambas as cultivares.

Palavras-chave: *Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*, irrigação, sensores, arduino.

CHAPTER II - TOMATO AGRICULTURAL PERFORMANCE CHERRY UNDER VOLUMETRIC WATER CONTENT IN THE SOIL IN PROTECTED ENVIRONMENT

(Normas de acordo com a revista Scientia Horticulturae)

ABSTRACT

Tomato is a crop with a large amount of water, which increases the need for studies on water use optimization strategies. Thus, in this study the effects of water replacement levels were applied, maintaining different volumetric soil water contents (CVA), without cherry tomato growth. The experimental design was randomized blocks (DBC), split plots without 4 x 2 scheme, plots were composed of four CVA (0.23; 0.30; 0.37 and 0.44 m³ m⁻³) and as subplots. by two tomato hybrids (Sweet Heaven and Mascot F1) and with four repetitions. The results of linear growth in the cherry tomatoes tests. A CVA sample of 0.44 m³ m⁻³ was 305.53% greater than 0.23 m³ m⁻³. Increased water stress increases soluble solids (SS) content in both cultures.

Keywords: *Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*, irrigation, sensors, arduino

1. INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e a mudança climática global exigem pesquisas e descobertas constantes que garantam a produção de alimentos saudáveis com recursos naturais limitados como solo e água (Ćosić et al., 2015). Em vista do fato de que a água é um recurso limitado, o objetivo geral desta pesquisa é buscar medidas e abordagens de economia de água, aliadas ao incremento na rentabilidade (Ćosić et al., 2017).

Atualmente, o déficit de irrigação é uma estratégia de otimização que permite, em certa medida, o estresse hídrico durante certo período de crescimento ou durante todo o ciclo, sem uma redução significativa no rendimento (Wahb-allah and Al-omran, 2012). A quantidade de água utilizada na irrigação deficitária pode diferir grandemente, dependendo das características do solo, das condições da cultura e da cultivar utilizada (Agbna et al., 2017b).

A fim de melhorar a produtividade, a qualidade dos produtos agrícolas e proporcionar regularidade na produção, outra técnica de grande relevância que se expandiu nos últimos anos no Brasil é o cultivo em ambientes protegidos (Reis et al., 2013). Além disso, esse tipo de cultivo resulta em menor impacto ambiental (Muñoz et al., 2008).

Dentre as plantas cultivadas em ambiente protegido, o qual coopera para a obtenção de um produto final com alta qualidade, destacam-se os tomates, dado ao alto valor agregado devido ao sabor, aparência, tamanho, formato e qualidade (Junqueira e Peetz, 2011). Além de proteger a cultura de problemas fitossanitários e condições climáticas adversas, o ambiente protegido proporciona cultivo o ano inteiro (Dannehl et al., 2014) e auxilia no uso eficiente da água (Ya-dan et al., 2017).

O tomate é considerado uma das culturas mais exigentes em água (Giuliani et al., 2011), no entanto, o aumento na quantidade de água na irrigação aumenta o

rendimento de frutos, mas reduz os teores de sólidos solúveis e o licopeno, enquanto que o déficit na irrigação pode limitar a produtividade (Xiukang e Yingying, 2016).

Neste sentido, dado ao efeito dos diferentes conteúdos volumétricos de água no solo (CVA), nas características produtivas e de crescimento do tomateiro, este estudo foi conduzido a fim de avaliar os efeitos do CVA nos parâmetros morfológicos e produtivos de duas cultivares de tomate cereja cultivadas em ambiente protegido. Objetivou-se também determinar o CVA que resulte em maior produtividade.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Detalhes Experimentais

O experimento foi realizado entre os meses de agosto de 2018 e fevereiro de 2019, em casa de vegetação localizada na área experimental do Instituto Federal Goiano - Campus Ceres (15°21'01.5"S de latitude 49°35'55.2"W de longitude e 580 m de altitude). O clima da região, segundo a classificação de Koppen-Geiger, é do tipo Aw, ou seja, um clima tropical com estação seca no inverno. A casa de vegetação utilizada possui formato tipo arco, medindo 7 m de largura e 20 m de comprimento, coberta por filme de polietileno multicamadas Suncover AV Blue de 120 micra e tela lateral antiofídica.

Duas variedades de tomate cereja (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*) foram utilizadas, os híbridos Sweet Heaven e Mascot F1. As mudas foram produzidas utilizando bandejas de poliestireno expandido de 128 células, substrato comercial Plantmax e uma semente por célula. Aos 45 dias após a emergência (DAE), as mudas foram transplantadas para vasos flexíveis de 12 litros (dimensões: 23,5 cm de altura, 27 cm de largura parte superior e 23,5 cm na base) contendo substrato composto por uma mistura de solo de barranco e areia, na proporção de 2:1.

O substrato utilizado era composto por 59,0% areia; 9,0% limo e 32,0% argila; pH (CaCl₂) 5,9; matéria orgânica: 8,0 g dm⁻³; cálcio 1,5 cmol_c dm⁻³; magnésio: 0,7 cmol_c dm⁻³; potássio: 34,5 mg dm⁻³ e fósforo: 1,8 mg dm⁻³; saturação de base: 60,71%.

Durante o transplântio, a umidade dos substratos contidos nos vasos foi elevada à umidade da capacidade do vaso (0,37 m³ m⁻³), com base na metodologia utilizada por Casaroli e De Jong van Lier (2008) e Agbna et al. (2017a). O CVA, em capacidade de vaso, foi mantido durante a aclimatização das plântulas, que precedeu a diferenciação dos tratamentos realizada aos 12 dias após o transplântio (DAT).

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados (DBC), com quatro repetições, em parcelas subdivididas no esquema 4x2, cujas parcelas foram compostas por quatro conteúdos volumétricos de água no solo (0,23; 0,30; 0,37 e 0,44 m³ m⁻³) e as subparcelas por dois híbridos de tomate (Sweet Heaven e Mascot F1). O CVA foi obtido por meio da leitura de sensores de umidade do solo, marca Decagon Devices, modelo 10HS, inseridos verticalmente na camada intermediária do substrato.

Utilizou-se sistema de irrigação por gotejamento, com gotejadores do tipo botão, vazão de 2 L h⁻¹ e fluxo autocompensante. A irrigação era controlada por um sistema automatizado, no qual a placa Arduino (Mega ADK) processava os dados coletados pelos sensores de umidade do solo. Os sensores foram submetidos a calibração específica para o substrato, conforme metodologia descrita por Cobos e Chambers (2010).

As leituras dos sensores eram realizadas no intervalo de 30 minutos e, quando o CVA do substrato indicava valores abaixo dos limites pré-estabelecidos (0,23; 0,30; 0,37 e 0,44 m³ m⁻³), o sistema de irrigação era acionado automaticamente, permanecendo ligado por 60 segundos, aplicando um volume de água de 33 mL, correspondente a uma lâmina de 0,60 mm.

O espaçamento utilizado foi de 0,5 m entre plantas, 1 m entre linhas e 1,5 m entre linhas duplas, equivalente a uma população de 20.000 plantas por hectare.

As plantas foram tutoradas com o sistema vertical em fitilhos e o manejo preventivo de doenças realizado através da aplicação de calda bordalesa aos 10 DAT. Realizou-se a retirada dos brotos laterais semanalmente a partir dos 30 DAT. O controle de plantas daninhas, tanto nos vasos quanto no chão, foi realizado manualmente durante todo o período experimental.

Os dados de temperatura e umidade do ar dentro do ambiente protegido foram obtidos utilizando uma estação meteorológica Davis Vantage Pro 2.

2.2 Crescimento e produtividade

As variáveis altura de planta (AP, cm) e diâmetro do caule (DC, mm) foram medidas mensalmente a partir dos 45 DAT. As colheitas foram realizadas semanalmente a partir dos 45 DAT, totalizando nove ao longo do período experimental. Após cada colheita, foram avaliados diâmetro longitudinal (DL, cm) e diâmetro equatorial (DE, cm), utilizando um paquímetro digital, e produtividade total (PRODT, t ha⁻¹).

As variáveis massa fresca de raiz (MFR, g planta⁻¹) e massa seca de raiz (MSR, g planta⁻¹) foram avaliadas aos 150 DAT, seguindo metodologia descrita por Borges et al. (2011), mantendo a MFR em estufa de circulação forçada por 72 horas, a uma temperatura de 65° C.

2.3 Análises químicas

As análises químicas foram realizadas em 10 frutos por parcela, escolhidos aleatoriamente em cada colheita.

O teor de sólidos solúveis (SS, °Brix) foi obtido utilizando um refratômetro digital, marca Reichert, modelo Brix/RI-Chek. O conteúdo de compostos fenólicos totais (FT, mg EqAG/g) foi determinado com base no método de Zielinski e Kozłowska (2000), realizado para os extratos etéreo, etanólico e aquoso. A determinação de capacidade antioxidante (CA, %) foi realizada com base nas metodologias Blois (1958) e Brand-Williams et al. (1995), utilizando o radical estável DPPH.

2.4 Análise estatística

As variáveis analisadas foram submetidas à análise de variância, utilizando o teste F de Fisher, ao nível de 5% de probabilidade. Para as variáveis em que houve efeito significativo no tratamento em $P < 0,05$, realizou-se análise de regressão para o CVA.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Dados climáticos

Os dados de temperatura e umidade relativa do ar no interior da estufa agrícola foram registrados durante todo o ciclo do experimento. Ambos apresentaram grande amplitude térmica, com mínimo de 19,20°C e máximo de 40,40°C para temperatura (Fig. 1A) e mínimo de 28,00% e máximo de 98,00% para umidade relativa do ar (Fig. 1B). Os

valores médios foram 25,28°C e 77,85% para temperatura e umidade relativa do ar, respectivamente.

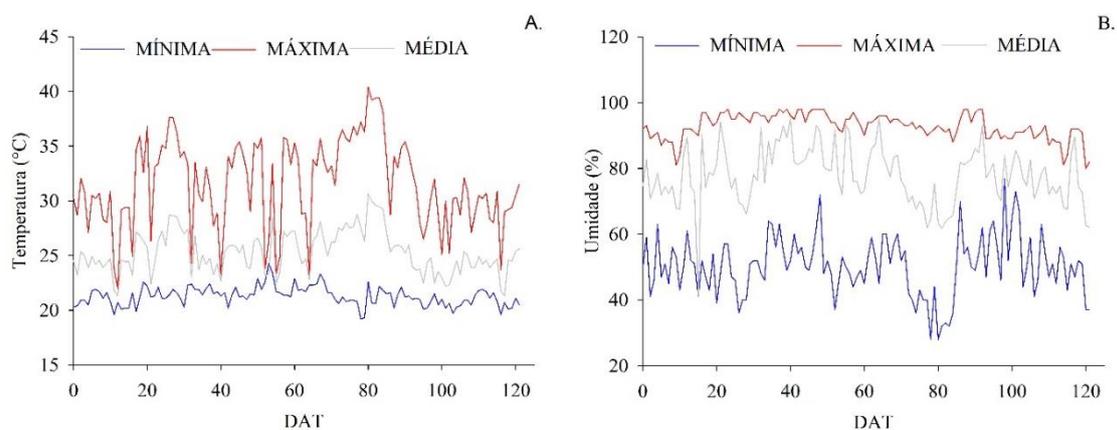


Fig. 1. Temperatura (A) e umidade relativa do ar (B) no interior da estufa durante o período experimental, Ceres-GO/Brasil, 2019.

Segundo Becker et al. (2017), o tomate se desenvolve melhor em regiões com temperaturas entre 18 e 23°C, as inferiores a 12°C reduzem o crescimento e as superiores a 32°C, além de ocasionar alta taxa de abortamento de flores, predispõem a planta à doenças causadas por fungos e bactérias. Para maximizar a frutificação efetiva, a faixa ótima de temperatura diurna é de 19 a 24°C e a noturna de 14 a 17°C. Temperaturas noturnas abaixo de 10°C e superiores a 20°C prejudicam a frutificação.

3.2 Conteúdo volumétrico de água no solo

A Tabela 1 apresenta a quantidade de irrigações e, conseqüentemente, o volume de água aplicado durante o período experimental, entre outubro de 2018 e janeiro 2019.

Tabela 1

Manejo da irrigação durante o ciclo da cultura do tomate cereja em função do CVA, Ceres-GO/Brasil, 2018/2019.

CVA (m³ m⁻³)	Período	Nº de Irrigações	Lâmina (mm)
0,23	Outubro	96	58,18
	Novembro	108	65,45
	Dezembro	117	70,91
	Janeiro	106	64,24
	TOTAL	427	258,79
0,30	Outubro	128	77,58
	Novembro	146	88,48
	Dezembro	162	98,18
	Janeiro	137	83,03
	TOTAL	573	347,27
0,37	Outubro	174	105,45
	Novembro	195	118,18
	Dezembro	208	126,06
	Janeiro	191	115,76
	TOTAL	768	465,45
0,44	Outubro	217	131,52
	Novembro	235	142,42
	Dezembro	252	152,73
	Janeiro	240	145,45
	TOTAL	944	572,12

O tratamento com CVA de 0,44 m³ m⁻³ recebeu uma lâmina total de água 572,12 mm, 121,07 % maior que a lâmina de 258,79 mm, aplicada no tratamento com 0,23 m³ m⁻³.

As lâminas utilizadas nesta pesquisa foram menores se comparadas às aplicadas por Santos et al. (2017), cujos valores corresponderam a 309,05; 439,25; 569,00; 698,78

e 828,50 mm para os tratamentos de 50%, 75%, 100%, 125% e 150% da evapotranspiração da cultura, respectivamente. Santiago et al. (2019), estudando tratamentos correspondentes a 140%; 160%; 180% e 200% da lâmina requerida pela cultura, aplicaram lâminas de 823,6; 932,8; 1041,2 e 1149,6 mm, respectivamente.

Silva et al. (2012), estudando cultivo do tomateiro em ambiente protegido sob diferentes taxas de reposição hídrica (33%, 66%, 100%, 133% e 136% da ETc), aplicaram lâminas de 108, 342, 504, 666 e 828 mm.

Coyago-Cruz et al. (2019), estudando déficit hídrico regulado na cultura do tomateiro, obteve valores de lâminas de irrigação de 536 e 582 mm, aplicadas no tratamento controle durante dois ciclos.

No tratamento com CVA de $0,44 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, houve perda de água por percolação. Comportamento semelhante foi encontrado por Burnett e Van Iersel (2008), em estudo sobre morfologia e eficiência de irrigação com sensor de capacitância, ao utilizar o mesmo valor de CVA.

Zheng et al. (2013), Chen et al. (2013) e Li et al. (2017) constataram que o déficit hídrico, em diferentes estágios de crescimento, afeta diretamente as plantas de tomateiro e, como consequência, reduz significativamente seu crescimento e rendimento.

3.3 Análises morfológicas/crescimento

A Tabela 2 apresenta o teste F de Fisher ($P < 0,05$) para as características morfológicas altura de planta (AP, cm), diâmetro do caule (DC, mm), massa fresca de raiz (MFR, g planta^{-1}) e massa seca de raiz (MSR, g de planta^{-1}) para os híbridos de tomate Sweet Heaven e Mascot F1, em função do CVA aos 150 DAT.

Tabela 2

Análise de variância para características morfológicas dos híbridos de tomate Sweet Heaven e Mascot F1 em função do CVA aos 150 DAT, Ceres-GO/Brasil, 2018/2019.

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios			
		AP (cm)	DC (mm)	MFR (g planta ⁻¹)	MSR (g planta ⁻¹)
CVA	3	745,47 ^{ns}	79,14 ^{ns}	4,47*	23,33*
Bloco	3	870,01 ^{ns}	45,02 ^{ns}	0,66 ^{ns}	0,86 ^{ns}
Resíduo (a)	9	1708,07	24,61	0,62	0,47
Híbrido (H)	1	3165,09*	4,15 ^{ns}	5,28*	17,55*
Interação CVA x H	3	522,79 ^{ns}	8,40 ^{ns}	0,11 ^{ns}	1,14*
Resíduo (b)	12	285,24	13,18	0,47	0,23
CV (a)		17,41	12,72	4,89	6,74
CV (b)		7,11	9,31	4,26	4,73

*Significativo ao nível de significância de 5% ($P < 0.05$); ^{ns}. Não significativo ($P > 0,05$); Altura de planta

(AP), diâmetro do caule (DC), massa fresca da raiz (MFR) e massa seca da raiz (MSR).

O CVA promoveu diferenças significativas ($P < 0,05$) nas características MFR e MSR, o mesmo não ocorrendo para as demais características morfológicas AP e DC. As características AP, MFR e MSR diferiram estatisticamente, ao nível pré-estabelecido, em relação aos híbridos, o mesmo não ocorrendo para os demais índices estudados. Houve interação entre os fatores CVA e híbridos para MSR.

Os resultados obtidos foram semelhantes aos relatados por Pires et al. (2009) e Lima et al. (2017) ao estudarem o efeito de lâminas de irrigação em tomate cultivado em ambiente protegido, os quais também não encontraram diferença significativa dos tratamentos em relação à AP.

Soares et al. (2011) e Brito et al. (2015) trabalharam com tomate e lâminas de irrigação em ambiente protegido e também não obtiveram diferenças significativas para a característica DC.

A Tabela 3 apresenta o resultado do desdobramento da interação entre CVA e híbridos para MSR (g de planta⁻¹) aos 153 DAT.

Tabela 3

Desdobramento da interação de MSR (g planta⁻¹) dos híbridos de tomate Sweet Heaven e Mascot F1 em função do CVA, Ceres-GO/Brasil, 2019.

HÍBRIDO	CVA (m³ m⁻³)			
	0,23	0,30	0,37	0,44
Sweet Heaven	12,25a	9,70b	11,90b	9,87b
Mascot F1	11,57a	7,52a	10,90a	7,80a

Para MSR, os valores médios diferiram estatisticamente nos CVA de 0,30; 0,37 e 0,44, sendo o híbrido Sweet Heaven o que apresentou valores mais elevados.

Para ambas as cultivares não houve um modelo matemático de regressão que tenha se ajustado.

Segundo Xu et al. (2015) e Brito et al. (2015), plantas sob condições de estresse hídrico podem apresentar vários mecanismos de tolerância e adaptação, dentre eles, o deslocamento de fotoassimilados para as raízes, aumentando, assim, a extensão da raiz para camadas mais profundas do solo.

3.4 Análises de produtividade

A Tabela 4 apresenta o teste F de Fisher ($P < 0,05$) para as características diâmetro longitudinal do fruto (DL, mm); diâmetro equatorial do fruto (DE, mm); produtividade média (PRODT, t ha⁻¹) e teor de sólidos solúveis (SS, °BRIX) dos híbridos de tomate em função do CVA (0,23; 0,30; 0,37 e 0,44 m³ m⁻³) aos 120 DAT.

Tabela 4

Análise de variância para características produtivas dos híbridos de tomate Sweet Heaven e Mascot F1 em função do CVA, Ceres-GO/Brasil, 2019.

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médio			
		DL (mm)	DE (mm)	PRODT (t ha ⁻¹)	SS (°BRIX)
CVA	3	63,52*	56,49*	98,22*	2,50*
Bloco	3	0,93 ^{ns}	0,73 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,03 ^{ns}
Resíduo (a)	9	1,31	0,68	1,29	0,10
Híbrido (H)	1	2,79 ^{ns}	0,80 ^{ns}	1,29 ^{ns}	0,72*
Interação CVA x H	3	1,39 ^{ns}	1,46 ^{ns}	0,92 ^{ns}	0,26 ^{ns}
Resíduo (b)	12	0,92	0,62	2,70	0,13
CV (a)		5,19	4,61	17,77	3,52
CV (b)		4,35	4,40	25,71	4,04

*Significativo ao nível de significância de 5% ($P < 0.05$); ^{ns}. Não significativo ($P > 0,05$);

Produtividade Total (PRODT), diâmetro longitudinal (DL), diâmetro equatorial (DE) e sólidos solúveis (SS).

Em relação aos frutos, a análise estatística indicou haver diferenças significativas ($P < 0,05$) para PRODT, DL, DE e SS. A característica SS diferiu estatisticamente, ao nível pré-estabelecido, também em relação aos híbridos, o mesmo não ocorrendo para os demais índices estudados. Não houve interação entre CVA e híbridos para nenhuma das características avaliadas.

O diâmetro longitudinal (Fig. 2A) e diâmetro equatorial dos frutos (Fig. 2B), aumentaram linearmente os valores médios com o acréscimo do CVA.

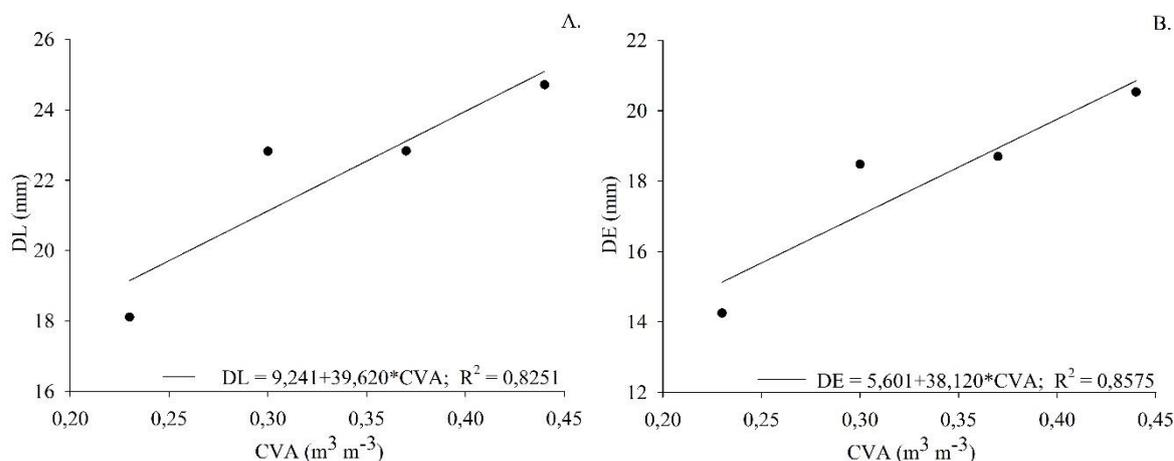


Fig. 2. Diâmetro longitudinal (A) e diâmetro equatorial (B) em função do CVA, Ceres-GO/Brasil, 2019.

Cada incremento de $0,01 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ no CVA resultou em um aumento de 0,396 e 0,381 mm, nos diâmetros longitudinal e equatorial, respectivamente. No diâmetro longitudinal, os valores médios variaram de 18,98 a 25,06 mm para o híbrido Sweet Heaven e de 17,25 a 24,38 mm para o híbrido Mascot F1. Para o diâmetro equatorial, os valores médios variaram de 15,04 a 20,57 mm para o híbrido Sweet Heaven e de 13,46 a 20,49 mm para o híbrido Mascot F1.

Silva et al. (2012) e Santiago et al. (2018), estudando cultivo do tomateiro em ambiente protegido, sob diferentes taxas de reposição hídrica, também encontraram resposta linear crescente para as variáveis DL e DE.

A característica PRODT (Fig. 3) apresentou tendência linear crescente do menor para o maior CVA, com aumento de $0,368 \text{ t ha}^{-1}$ para cada incremento de $0,01 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ no CVA.

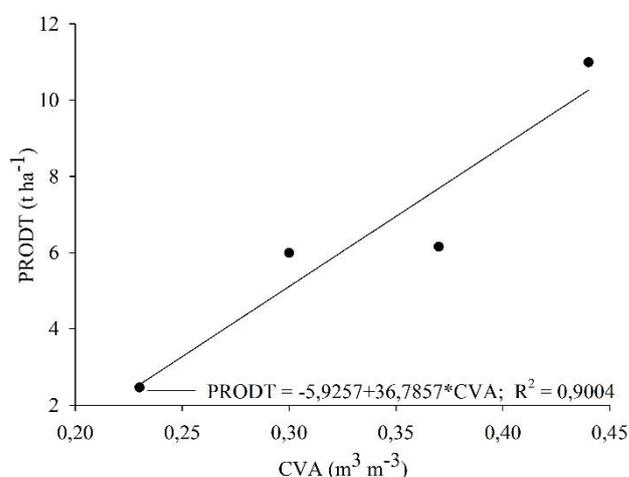


Fig. 3. Produtividade total em função do CVA aos 120 DAT, Ceres-GO/Brasil, 2019.

As plantas dos tratamentos mantidos sob estresse por déficit hídrico, com CVA de $0,23$ e $0,30 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, apresentaram sintomas como queda de flores e murcha, além da redução do crescimento e produção de frutos pequenos.

As PROD's máxima e mínima estimadas foram de 10,99 e 2,46 t ha⁻¹, respectivamente. Nas condições deste estudo houve um incremento produtivo de 305,53% ao se comparar o CVA de 0,44 m³ m⁻³ com o de 0,23 m³ m⁻³.

Macêdo e Alvarenga (2003), Zheng et al. (2013), Santiago et al. (2018), Ihuoma e Madramootoo (2019), estudando rendimento do tomateiro irrigado sob lâminas de irrigação, também obtiveram um aumento linear, observando as mesmas relações entre a produtividade do tomateiro e o aumento dos níveis de reposição hídrica.

Zheng et al. (2013), Li et al. (2017), Du et al. (2018), em estudos de lâminas de irrigação na cultura do tomate em ambiente protegido, afirmam que déficit hídrico, em diferentes estágios de crescimento, afeta diretamente as plantas de tomateiro e, como consequência, reduz significativamente seu crescimento e rendimento.

A Fig. 4 mostra o comportamento linear decrescente para o teor de sólidos solúveis, indicando maiores teores de °Brix para os menores valores de CVA.

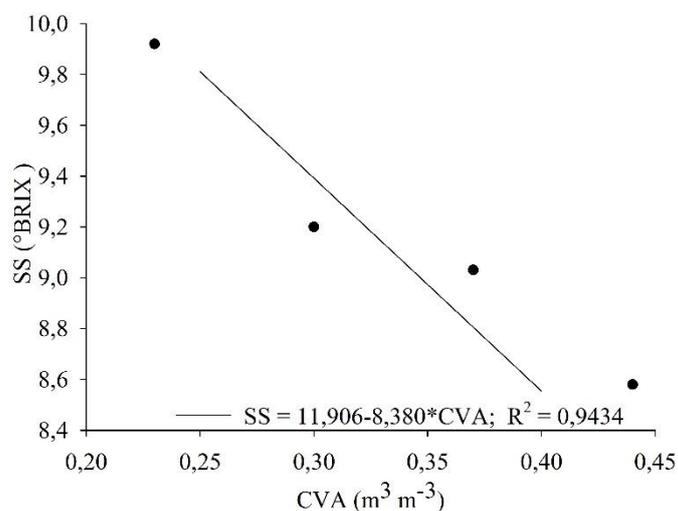


Fig. 4. Sólidos solúveis (°Brix) em função do CVA aos 120

DAT, Ceres-GO/Brasil, 2019.

Os ajustes lineares obtidos neste estudo são semelhantes aos observados por Koetz et al. (2010), Zheng et al. (2013), Silva et al. (2018), Santiago et al. (2018b) ao estudarem características agrônômicas do tomate cultivado sob lâminas de irrigação.

Wang et al. (2015), avaliando produtividade e qualidade dos frutos de tomateiro com déficit de irrigação, afirma que o déficit de irrigação aumenta os teores de sólidos solúveis, apesar de reduzir a produtividade.

Segundo Kumar et al. (2015) e Nangare et al. (2016) o acúmulo de assimilados em frutos sob estresse hídrico pode ocorrer devido ao tamanho reduzido do fruto e baixa diluição, como consequência da diminuição do teor de água presente nos frutos.

O híbrido Sweet Heaven apresentou maior °Brix, se comparado ao híbrido Mascot F1, com valores médios de 9,32 e 9,03, superiores aos encontrados por Abraão (2011), o qual obteve uma média de 7,1 e 7,4 °Brix.

3.5 Análises químicas

A Tabela 5 apresenta o teste F de Fisher ($P < 0,05$) para as características fenólicas totais (FT, mg EqAG/g); capacidade antioxidante (CA, %); dos híbridos de tomate em função do CVA (0,23; 0,30; 0,37 e 0,44 m³ m⁻³) aos 120 DAT.

Tabela 5.

Análise de variância para características químicas dos híbridos de tomate Sweet Heaven e Mascot F1 em função do CVA, Ceres-GO/Brasil, 2019.

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médio	
		FT (mg EqAG/g)	CA (%)
CVA	3	1754.70 ^{ns}	184.63 ^{ns}
Bloco	3	505.16 ^{ns}	114.16 ^{ns}
Resíduo (a)	9	1937.23	91.35
Híbrido (H)	1	4619.52 ^{ns}	0.13 ^{ns}
Interação CVA x H	3	2852.60 ^{ns}	390.85*
Resíduo (b)	12	2182.18	97.28
CV (a)		19,70	17,01
CV (b)		20,91	17,55

*Significativo ao nível de significância de 5% ($P < 0,05$); ^{ns}. Não significativo ($P > 0,05$); Fenólicos totais (FT), capacidade antioxidante (CA).

Conforme Tabela 5, as características químicas FT e CA não apresentaram diferenças significativas ($P < 0,05$) em função do CVA. Houve interação entre os fatores CVA e híbridos para CA.

A Tabela 6 apresenta o resultado do desdobramento da interação entre CVA e híbridos para CA aos 120 DAT.

Tabela 6

Desdobramento da interação de CA (%) dos híbridos de tomate Sweet Heaven e Mascot F1 em função do CVA, Ceres-GO/Brasil, 2019.

HÍBRIDO	CVA ($m^3 m^{-3}$)			
	0,23	0,30	0,37	0,44
SWEET HEAVEN	53,10a	48,47a	52,71a	70,71b
MASCOT F1	59,95a	63,12a	47,90a	53,41a

O maior valor estimado para CA foi de 70,71%, para o CVA 0,44 e o híbrido Sweet Heaven.

Para a análise do desdobramento do CVA com a característica CA não houve equação que se ajustasse para os valores obtidos para o híbrido Mascot F1.

5. CONCLUSÃO

O aumento no conteúdo volumétrico de água (CVA) no solo proporcionou incremento linear na produtividade de ambas as cultivares de tomate cereja. O CVA de $0,44 m^3 m^{-3}$ proporcionou incremento de 305,53 % quando comparado ao tratamento com maior restrição hídrica ($0,23 m^3 m^{-3}$).

O efeito qualitativo da redução do CVA foi o incremento linear nos teores de Sólidos solúveis (SS).

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abrahão, C., 2011. Relação K:Ca:Mg na solução nutritiva para o cultivo de mini tomate em substrato. Dissertação (Dissertação em Agronomia) - Unesp - Campus Botucatu. São Paulo, p. 52. 2011.

Agbna, G.H.D., Dongli, S., Zhipeng, L., Elshaikh, N.A., Guangcheng, S., Timm, L.C., 2017a. Effects of deficit irrigation and biochar addition on the growth, yield, and quality of tomato. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*. 222, 90–101. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.05.004>

Agbna, G.H.D., Dongli, S., Zhipeng, L., Elshaikh, N.A., Guangcheng, S., Timm, L.C., 2017b. Effects of deficit irrigation and biochar addition on the growth, yield, and quality of tomato. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*. 222, 90–101. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.05.004>

Becker, W. f., Wamser, A.F., Feltrim, A.L., Suzuki, A., Pereira dos SANTOS, J., Valmorbidia, J., Hahn, L., Marcuzzo, L.L., Mueller, S., 2017. Sistema de produção integrada para o tomate tutorado em Santa Catarina.

Blois, M.S., 1958. Antioxidant Determinations by the use of a stable free radical. *Nat. Microbiol.* 182, 800–801. <https://doi.org/10.2307/3280933>

Borges, B.M.M.N., Lucas, F.T., Modesto, Viviane Cristina Prado, R. de M., Silva, Edson Santos da Braos, B.B., 2011. Métodos de determinação da matéria seca e dos teores de macronutrientes em folhas de alface. *Rev. Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas* V 5, 12–16.

Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E., Berset, C., 1995. DPPH_BrandWilliams_Evaluation 30, 25–30.

Brito, M.E.B., Soares, L.A. dos A., Lima, G.S. de, Sá, F.V. da S., Araújo, T.T. de, Silva, E.C.B., 2015. Crescimento e formação de fitomassa do tomateiro sob estresse hídrico nas fases fenológicas 139–153.

Burnett, S.E., Van Iersel, M.W., 2008. Morphology and irrigation efficiency of *Gaura lindheimeri* grown with capacitance sensor-controlled irrigation. *HortScience* 43, 1555–1560. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.43.5.1555>

Casaroli, D., De Jong van Lier, Q., 2008. Critérios para determinação da capacidade de vaso. *Rev. Bras. Cienc. do Solo* 32, 59–66.

Chen, J., Kang, S., Du, T., Qiu, R., Guo, P., Chen, R., 2013. Quantitative response of greenhouse tomato yield and quality to water deficit at different growth stages. *Agric. Water Manag.* 129, 152–162. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.07.011>

Ćosić, M., Djurović, N., Stričević, R., Savić, S., Domazet, M., 2015. Effect of irrigation regime and application of kaolin on yield, quality and water use efficiency of tomato. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*. 201, 271–278. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.02.017>

Ćosić, M., Stričević, R., Djurović, N., Moravčević, D., Pavlović, M., Todorović, M., 2017. Predicting biomass and yield of sweet pepper grown with and without plastic film mulching under different water supply and weather conditions. *Agric. Water Manag.* 188, 91–100. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.04.006>

Coyago-Cruz, E., Meléndez-Martínez, A.J., Moriana, A., Girón, I.F., Martín-Palomo, M.J., Galindo, A., López-Pérez, D., Torrecillas, A., Beltrán-Sinchiguano, E., Corell, M., 2019. Yield response to regulated deficit irrigation of greenhouse cherry tomatoes. *Agric. Water Manag.* 213, 212–221. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.10.020>

Dannehl, D., Josuttis, M., Ulrichs, C., Schmidt, U., 2014. The potential of a confined closed greenhouse in terms of sustainable production , crop growth , yield and valuable

plant compounds of tomatoes 219, 210–219.

<https://doi.org/10.5073/JABFQ.2014.087.030>

Du, Y.D., Niu, W.Q., Gu, X.B., Zhang, Q., Cui, B.J., 2018. Water- and nitrogen-saving potentials in tomato production: A meta-analysis. *Agric. Water Manag.* 210, 296–303.

<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.08.035>

Fara, S.J., Teixeira Delazari, F., Silva Gomes, R., Araújo, W.L., da Silva, D.J.H., 2019. Stomata opening and productiveness response of fresh market tomato under different irrigation intervals. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*. 255, 86–95.

<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.05.025>

Giuliani, M.M., Nardella, E., Gatta, G., Agraria, F., Syngenta, F., 2011. Processing Tomato Cultivated under Water Deficit Conditions : the Effect of Azoxystrobin 287–294.

Ihuoma, S.O., Madramootoo, C.A., 2019. Sensitivity of spectral vegetation indices for monitoring water stress in tomato plants. *Comput. Electron. Agric.* 163, 104860.

<https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.104860>

Junqueira, A.H., Peetz, M. da S., 2011. Sweet Grape: Um modelo de inovação na gestão da cadeia de produção e distribuição de hortaliças diferenciadas no Brasil. *ESPM Cent. Cases* 1–16.

Koetz, M., Masca, M.G.C.C., Carneiro, L.C., Ragagnin, V.A., Junior, D.G.D.S., Filho, R.R.G., 2010. Caracterização agrônômica e °brix em frutos de tomate industrial sob irrigação por gotejamento no sudoeste de goiás. *Rev. Bras. Agric. Irrig. - RBAI* 4, 14–22.

<https://doi.org/10.7127/RBAI.V4N100022>

Kumar, P.S., Singh, Y., Nangare, D.D., Bhagat, K., Kumar, M., Taware, P.B., Kumari, A., Minhas, P.S., 2015. Influence of growth stage specific water stress on the yield, physico-chemical quality and functional characteristics of tomato grown in shallow

basaltic soils. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*. 197, 261–271.

<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.054>

Li, Y., Sun, Y., Liao, S., Zou, G., Zhao, T., Chen, Y., Yang, J., Zhang, L., 2017. Effects of two slow-release nitrogen fertilizers and irrigation on yield, quality, and water-fertilizer productivity of greenhouse tomato. *Agric. Water Manag.* 186, 139–146.

<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.02.006>

Lima, T.P. De, Filho, R.R.G., Rafael, C., Freitas, D.S., Carvalho, C.M. de, Netto, A.O. de A., 2017. Lâminas de irrigação e formas de adubação na produção de tomate de Irrigation depths and fertilizing forms in table tomato production 7467, 18–25.

Macêdo, L. de S., Marco Antônio Rezende Alvarenga, 2003. Efeitos De Lâminas De Água E Fertirrigação Potássica Sobre O Crescimento , Produção E Qualidade 296–304.

Marques, M.A.D., 2013. Lâminas E Frequências De Irrigação Para a Cultura Do Tomateiro Tipo Grape , Em Casa Nova , BA.

Nangare, D.D., Singh, Y., Kumar, P.S., Minhas, P.S., 2016. Growth, fruit yield and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) as affected by deficit irrigation regulated on phenological basis. *Agric. Water Manag.* 171, 73–79.

<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.03.016>

Pires, R.C., Furlani, P.R., Sakai, E., Lourenção, A.L., Silva, E.A. da, Torre Neto, A., Melo, A.M., 2009. Desenvolvimento e produtividade do tomateiro sob diferentes frequências de irrigação em estufa. *Hortic. Bras.* 27, 228–234.

<https://doi.org/10.1590/s0102-05362009000200019>

Reis, L.S., Azevedo, C.A.V. de, Albuquerque, A.W., S. Junior, J.F., 2013. Índice De Área Foliar E Produtividade Do Tomate Sob Condições De Ambiente Protegido. *Rev. Bras. Eng. Agrícola e Ambient.* 17, 386–391. <https://doi.org/10.1590/s1415->

43662013000400005

Santiago, E.J.P., de Oliveira, G.M., Leitão, M. de M.V.B.R., Rocha, R. de C., Pereira, A.V.A., 2018a. Yield characteristics of cherry tomato cultivated with and without shading screen at different irrigation levels. *Pesqui. Agropecu. Trop.* 48, 374–381. <https://doi.org/10.1590/1983-40632018v4853064>

Santiago, E.J.P., Oliveira, G.M. de, Leitão, M. de M.V.B.R., Rocha, R.D.C., Pereira, A.V.A., 2019. Qualidade do tomate cereja cultivado sob lâminas de irrigação em ambiente protegido e campo aberto. *Agrometeoros* 26, 213–221. <https://doi.org/10.31062/agrom.v26i1.26343>

Santiago, E.J.P., Oliveira, G.M. de, Leitão, M. de M.V.B.R., Rocha, R.D.C., Pereira, A.V.A., 2018b. Qualidade do tomate cereja cultivado sob lâminas de irrigação em ambiente protegido e campo aberto. *Agrometeoros* 26, 213–221. <https://doi.org/10.31062/agrom.v26i1.26343>

Santos, A. de P., Costa, A.R. da, Silva, P.C., Melo, M.C.R. de, Araújo, H.L., 2017. Influência de lâminas de irrigação e fontes de nitrogênio no crescimento vegetativo do tomate cereja cultivado em ambiente protegido 530–543. <https://doi.org/10.18677/EnciBio>

Silva, C.J., Pontes, N.C., Golynski, A., Braga, M.B., Quezado-Duval, A.M., Silva, N.E., 2018. Performance of processing tomatoes under different supply levels of crop evapotranspiration. *Hortic. Bras.* 36, 299–305. <https://doi.org/10.1590/s0102-053620180303>

Silva, J.M. da, Ferreira, R.S., Melo, A.S. de, Suassuna, J.F., Dutra, A.F., Gomes, J.P., 2012. Cultivo do tomateiro em ambiente protegido sob diferentes taxas de reposição da evapotranspiração. *Rev. Bras. Eng. Agrícola e Ambient.* 17, 40–46.

<https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000100006>

Soares, L.A. dos A., Lima, G.S. de, Brito, M.E.B., Araújo, T.T. de, Sá, F.V. de, 2011. Taxas De Crescimento Do Tomateiro Sob Lâminas De Irrigação Em Ambiente Protegido. *Rev. Verde Agroecol. e Desenvolv. Sustentável* 6, 210–217.

Soares, L.A.A., Lima, G.S. de, Brito, M.E.B., Sá, F.V.S., Silva, E.C.B. da, Araújo, T.T. de, 2012. Cultivo do tomateiro na fase vegetativa sobre diferentes lâminas de irrigação em ambiente protegido Cultivation of tomato phase vegetative under different irrigation levels in protected environment. *Agropecuária Científica no Semiárido* 8, 38–45.

Wahb-allah, m.a., al-omran, a.m., 2012. Effect of water quality and deficit irrigation on tomato growth, yield and water use efficiency at different developmental stages 11, 80–110.

Wang, C., Gu, F., Chen, J., Yang, H., Jiang, J., Du, T., Zhang, J., 2015. Assessing the response of yield and comprehensive fruit quality of tomato grown in greenhouse to deficit irrigation and nitrogen application strategies. *Agric. Water Manag.* 161, 9–19. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.07.010>

Xiukang, W., Yingying, X., 2016. Evaluation of the Effect of Irrigation and Fertilization by Drip Fertigation on Tomato Yield and Water Use Efficiency in Greenhouse 2016.

Xu, W., Cui, K., Xu, A., Nie, L., Huang, J., Peng, S., 2015. Drought stress condition increases root to shoot ratio via alteration of carbohydrate partitioning and enzymatic activity in rice seedlings. *Acta Physiol. Plant.* 37, 0–11. <https://doi.org/10.1007/s11738-014-1760-0>

Ya-dan, D.U., Hong-xia, C.A.O., Shi-quan, L.I.U., Xiao-bo, G.U., Yu-xin, C.A.O., 2017. Response of yield , quality , water and nitrogen use efficiency of tomato to different levels of water and nitrogen under drip irrigation in Northwestern China. *J. Integr. Agric.* 16,

1153–1161. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(16\)61371-0](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(16)61371-0)

Zheng, J., Huang, G., Jia, D., Wang, J., Mota, M., Pereira, L.S., Huang, Q., Xu, X., Liu, H., 2013. Responses of drip irrigated tomato (*Solanum lycopersicum* L.) yield, quality and water productivity to various soil matric potential thresholds in an arid region of Northwest China. *Agric. Water Manag.* <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.08.001>

Zielinski, H., Kozłowska, H., 2000. Antioxidant Activity and Total Phenolics in Selected Cereal Grains and Their Different Morphological Fractions. *J. Agric. Food Chem.* 50, 6182–6187. <https://doi.org/10.1021/jf400556s>

4. CONCLUSÃO GERAL

A automação com Arduino e sensores de umidade de solo se mostrou eficiente, capaz de monitorar e acionar o sistema de irrigação, mantendo a umidade do solo dentro dos padrões pré-estabelecidos.

O aumento no conteúdo volumétrico de água (CVA) no solo proporcionou incremento linear na produtividade de ambas as cultivares de tomate cereja. O CVA de $0,44 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ proporcionou incremento de 305,53 % quando comparado ao tratamento com maior restrição hídrica ($0,23 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$).

O efeito qualitativo da redução do CVA foi o incremento linear nos teores de Sólidos solúveis (SS).