

SOROTORI JACOB FARA

**EFEITO DO INTERVALO DE IRRIGAÇÃO NO DESENVOLVIMENTO E
PRODUÇÃO DA CULTURA DO TOMATE PARA MESA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

Orientador: Derly Jose Henriques da Silva

VIÇOSA - MINAS GERAIS

2020

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa

T

F219e
2020 Fara, Sorotori Jacob, 1986-
Efeito do intervalo de irrigação no desenvolvimento e
produção da cultura de tomate para mesa / Sorotori Jacob Fara. –
Viçosa, MG, 2020.
80 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Derly José Henriques da Silva.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. Tomate - Irrigação. 2. Tomate - Qualidade. 3. Déficit
hídrico. 4. Fotossíntese. 5. Estômatos. 6. Produtividade. 7.
Solanum lycopersicum. I. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Fitotecnia. Programa de Pós-Graduação em
Fitotecnia. II. Título.

CDD 22 ed. 635.64287

SOROTORI JACOB FARA

**EFEITO DO INTERVALO DE IRRIGAÇÃO NO DESENVOLVIMENTO E
PRODUÇÃO DA CULTURA DO TOMATE PARA MESA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

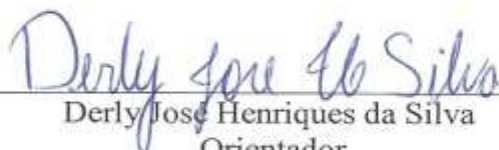
APROVADA: 16 de outubro 2020.

Assentimento:



Sorotori Jacob Fara

Autor



Derly José Henriques da Silva

Orientador

Ao meus pais Yotto Fara e Marguerite Moukpari

Ao meu filho, Benício Sorotori Fara

a Rita de Cassia Cruz

ao meus irmãs

com todo amor, Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por estar sempre presente em minha vida, iluminando o meu caminho e por fortalecer-me sempre.

À minha família, pelo grande esforço que todos fizeram para que eu chegasse até aqui.

A Benício Sorotori Fara, meu filho, pelo constante apoio emocional e pela grande motivação.

À Universidade Federal de Viçosa, em especial ao Departamento de Fitotecnia, pela oportunidade de realização da Pós-Graduação em Agronomia – Fitotecnia.

A CAPES: “O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001”.

Ao Professor Derly José Henriques da Silva, pela confiança, amizade, ensinamento, conselhos e pelo exemplo profissional.

Ao Dr. Fábio Teixeira Delazari, pelo apoio, pela colaboração, pela amizade e pelo auxílio na realização dos trabalhos.

Aos Professores Carlos Nick, Samuel Cordeiro Vitor Martins, Wagner L. Araújo, pela orientação.

A professora Denise Cunha Fernandes dos Santos Dias, pelo incentivo e pela colaboração.

Ao professor Paulo Cecon pelo apoio nas análises estatísticas.

Ao secretaria pós-graduação Fitotecnia: Lídia Nara Alves Nunes, Tatiani Gomes Gouvêa

Aos meus amigos do Núcleo de Estudos em Olericultura (NEO), em especial a Manuel Antônio George, Ronaldo Silva Gomes, Raphael Chagas, Cleverson.

Aos funcionários da Horta de Pesquisa da UFV, pelo auxílio na condução dos experimentos.

BIOGRAFIA

SOROTORI JACOB FARA, filho de Yotto Fara e Marguerite Moukpari, nasceu no dia 1º de janeiro de 1986, na cidade de Natitingou, Atacora, Benin.

Em outubro de 2006, iniciou o curso de graduação na faculdade de Ciências e Tecnologias (FAST/UAC), no Departamento de Química, Biologia e Geologia (CBG), opção Ciências Naturais (SN), da Universidade Abomey-Calavi (UAC), Benin, colando grau em dezembro de 2012.

Em julho de 2014, obteve o título de Mestre em Ciências Naturais pela UAC, Benin. Também durante o Mestrado, trabalhou como Professor de SVT (Ciência da Vida e da Terra) no ensino Médio da instituição pública CEG, em Abomey-Calavi, por três anos, adquirindo experiência profissional.

Em agosto de 2016, iniciou o curso de Doutorado em Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa (UFV), submetendo-se à defesa da tese em Outubro de 2020.

RESUMO

SOROTORI, Jacob Fara, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, outubro de 2020. **Efeito do Intervalo de Irrigação no Desenvolvimento e Produção da Cultura do Tomate para Mesa.** Orientador: Derly José Henriques da Silva.

O tomate é a segunda principal hortaliça, em volume, consumida *in natura* (tomate de mesa) ou processada (tomate industrial ou rasteiro) no mundo sendo superada pela batata. Então, apesar de todos os estudos já realizados, é importante pesquisar o melhor intervalo de irrigação que facilite o bom funcionamento de estômatos, permitindo melhor eficiência fotossintética e, em consequência, melhor produtividade primária. O arranjo de plantas e a irrigação por gotejamento têm-se mostrado parâmetros fundamentais para as condições de produção, além de contribuir para o aumento da qualidade de frutos e a maior eficiência de uso de água. Entretanto, a má gestão da irrigação pode diminuir a produção, tornando necessário que se busque o equilíbrio entre a economia de água e a obtenção de níveis satisfatórios de rendimentos. Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos do intervalo da irrigação sobre as características morfofisiológicas, eficiência fotossintética, produtividade e qualidade de frutos em tomateiro. Nesse sentido, foram avaliados cinco regimes de irrigação, a saber: irrigação diária, irrigação a cada três dias, irrigação a cada cinco dias, irrigação a cada sete dias e irrigação a cada nove dias. Os experimentos foram realizados em delineamento de blocos casualizados (DBC) com cinco tratamentos e cinco repetições. Os ensaios foram realizados na Horta de Pesquisa do Departamento de Fitotecnia (UFV-MG), nos períodos de maio a outubro de 2017 (Experimento 1) e março a agosto de 2018 (Experimento 2). Durante os experimentos, foram avaliadas as características agrônômicas e morfofisiológicas das plantas. Observou-se que a produtividade do intervalo de irrigação de sete dias teve um pico máximo da produção de frutos, alcançando uma média de 149 toneladas por hectare. Teve maior eficiência fotossintética e maior eficiência de uso da água nesses tratamentos. Por outro lado, a irrigação diária resultou em menor produção, maior abertura estomática, porém com menor acúmulo de biomassa devido à baixa taxa de fotossíntese, além da maior frequência de doenças e pragas em plantas e frutos com defeito. A densidade radicular foi maior com irrigação a cada 5 e 7 dias, correspondendo à maior profundidade de enraizamento. Assim, o maior intervalo de irrigação proporcionou maior enraizamento, maior abertura estomática e eficiência fotossintética, além de maior produtividade. Na mesma condição experimental, a análise do conteúdo relativo de água, o índice de área foliar e temperatura foliar não mostrou diferença significativa entre tratamentos. A expressão de ABA, Citocinina e de prolina foram menores sob os maiores intervalos de

irrigação apontado menor estresse hídrico e manutenção de maior abertura estomática. Os frutos apresentaram mesma qualidade padrão em todos tratamentos independentemente do intervalo de irrigação aplicado. Maiores valores de eficiência de uso de água foram obtidos em maiores intervalos de irrigação, justificando, desta forma, os efeitos benéficos na economia de água e energia na cultura de tomateiro em campo aberto.

Palavras-chave: Eficiência fotossintética. Estômato aberto. Intervalo de irrigação. Produtividade. Qualidade de frutos. *Solanum lycopersicon*.

ABSTRACT

SOROTORI, Jacob Fara, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, October, 2020. **Morphophysiological responses of fresh market tomatoes under different irrigation intervals.** Advisor: Derly José Henriques da Silva.

The tomato is the main vegetable more consumed *in natura* (fresh market tomato) as well as processed tomato (industrial tomato) all over the world. So, despite all the studies already done, it is important research the best irrigation interval that could maximize the functioning of the stomata in fresh market tomato and improve the photosynthetic and yield efficiency of this crop. Plant arrangement and drip irrigation have been shown to be fundamental parameters for the production conditions, as well as to contribute to the increase of the quality of fruits and water use efficiency. On the other hand, incorrect irrigation schedule can reduce production hence necessitating extraordinary measures that ensure balance between successful water management and satisfactory fresh market tomato productiveness. So, this work aimed to study effects of the irrigation interval on the development and production of tomatoes based on the maximizing the opening stomata period that improve photosynthetic process. Five irrigation intervals were evaluated: daily irrigation, irrigation every 3 days, irrigation every 5 days, irrigation every 7 days and irrigation every 9 days . The experiment was carried out under a randomized complete block design (RCBD), with five treatments and five replicates. The experiment was settled in the horticulture experimental area of the Plant Science Department at the Federal University of Viçosa (UFV-MG). The first experiment was carried out from May to October 2017 (Experiment 1) and the second from March to August 2018 (Experiment 2). During the experiment the agronomic and morphophysiological characteristics of the plants were evaluated. It was observed that yield of 7-day irrigation interval generate a peak of fruit yield averaging 149 tons per hectare. It's mean that had greater photosynthetic efficiency and greater efficiency of water use. On the other hand, daily interval of irrigation resulted in a low production, that is, a higher stomatal opening period but with a lower accumulation of biomass due to the low rate of photosynthesis. Daily irrigation resulted on higher frequency of diseases and pests and the presence of defective fruits. The root density was higher in the greater irrigation intervals, corresponding to the greater depth of rooting. 7 and 9-days irrigation interval provided greater stomatal opening and photosynthetic efficiency, in addition to greater productivity. In the same experimental condition, analysis of the relative water content didn't show significant difference between treatments. Seven- and nine-days irrigation intervals expressed low abscisic acid, Cytokinin and proline content, pointing to a lower water stress and maintenance of greater stomatal opening under these treatments. The fruits showed the same

standard quality in all treatments regardless of the irrigation interval applied. The water use efficiency was higher in the larger interval of irrigation, that justify the beneficial effects of interval of irrigation on water and energy economy in tomato crop cultivation in open field condition.

Keywords: Fruit quality. Irrigation interval. Open stomata. Photosynthetic efficiency. Productivity. *Solanum lycopersicum*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Sistema de cultivo “Viçosa” com tomate para mesa na Unidade Experimental de Pesquisa e Extensão (UEPE UFV) Viçosa-MG, 2017/2018.	27
Figura 2(a) Umidade relativa do ar e (b) Déficit de pressão de vapor em 2017 e 2018. Viçosa, Minas Gerais, Brasil	29
Figura 3– (a) e (b) radiação solar (MJm-2) e evapotranspiração (mm d-1) (c) e (d) temperatura (°C) e chuva (mm), nos anos 2017e 2018 em Viçosa, Minas Gerais, Brasil	31
Figura 4: Foto do Infra Red Gas Analyser (IRGA), modelo portátil LI-6400, LI-COR Biosciences Inc., Lincon, Nebraska, USA em uso na Unidade Experimental de Pesquisa e Extensão (UEPE UFV); Viçosa-MG,2017/2018.....	34
Figura 5: produtividade total (t/ha) em 2017.....	39
Figura 6 :Produtividade total de frutos em 2018 em função dos intervalos de irrigação.	40
Figura 7:Massa de frutos médios (MFM) e massa de frutos grandes (MFG) em (g), em 2017	41
Figura 8: Massa de frutos médios (MFM) e massa de frutos grandes (MFG) em (g), em 2018	41
Figura 9:Temperatura foliar em função dos horários de dia em 2018.....	42
Figura 10:Conteúdo relativo de água em função dos horários expresso em (%) de água em 2018.	44
Figura 11:(a) Eficiência de uso de água e (b) Produtividade comercial em 2017 e 2018.....	45
Figura 12:Fotossíntese líquida em 2017 em função dos intervalos de irrigação.....	46
Figura 13:Fotossíntese líquida em 2018, em função dos intervalos de irrigação.....	47
Figura 14:Condutância estomática (gs) em função dos intervalos de irrigação	48
Figura 15:Condutância estomática (gs) do experimento de 2018 em função dos intervalos de irrigação	48
Figura 16:- (a) Eficiência intrínseca de uso da água (An gs-1) e (b) Eficiência de carboxilação (CEi)	50
Figura 17:Imagem digital do sistema radicular de tomateiro nos diferentes tratamentos. Trat. I1: intervalo de irrigação diária; Trat. I2: intervalo de irrigação de três dias; Trat. I3: intervalo de irrigação de cinco dias; Trat. I4: intervalo de irrigação de sete	51
Figura 18:- Comprimento radicular em função dos intervalos de irrigação.....	52
Figura 19:Área foliar (a) e índice de área foliar (b) em função dos intervalos de irrigação. ...	55
Figura 20: Discriminação de carbono em função dos intervalos de irrigação.....	56

Figura 21:Teores de ABA (a) e zeatina (b) nas folhas sob os diferentes intervalos de irrigação.	58
Figura 22:: Teores de prolina nas folha sob os diferentes intervalos de irrigação.	59
Figura 23:Carotenoides totais sob os diferentes intervalos de irrigação no experimento 1 (a) e no experimento 2 (b).....	60
Figura 24:Sólidos solúveis sob os diferentes intervalos de irrigação no experimento 1 (a) e no experimento 2 (b).....	61
Figura 25:Ph de frutos sob os diferentes intervalos de irrigação no experimento 1 (a) e no experimento 2 (b).....	62
Figura 26:Acidez Titulável sob os diferentes intervalos de irrigação no experimento 1 (a) e no experimento 2 (b).....	63
Figura 27:Firmeza de frutos sob os diferentes intervalos de irrigação no experimento 1 (a) e no experimento 2 (b).....	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1:- Características químicas do solo da área experimental, em três camadas (0-20, 20-40 e 40-60 cm), Viçosa-MG, 2017/2018.....	25
Tabela 2:Evapotranspiração da cultura (ETc) e soma de água total aplicada	28
Tabela 3:Resumo da análise de variância das características fotossíntese (An), condutância estomática (gs); e a produtividade (Prod).....	39
Tabela 4:Valores médio da fotossíntese (An) em cinco intervalos de irrigação e em duas épocas de cultivo	46
Tabela 5:Resumo da análise de variância das características fisiológicas, produtividade e aspectos físico-químicos de frutos.....	53

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
2. REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1. Cultura de tomateiro	18
2.2. Eficiência fotossintética do tomateiro.....	19
2.3. Enraizamento	20
2.4. Fitohormônios, osmoreguladores e qualidade de frutos	21
3. MATERIAL E MÉTODO	24
3.1. Área experimental.....	24
3.2. Características químicas e físico-hídricas do solo de cultivo e adubação	24
3.3. Preparo de mudas e controle de pragas e doenças	26
3.4. Sistema de cultivo	26
3.5. Manejo da irrigação e variáveis ambientais.....	27
3.6. Delineamento experimental	31
3.7. Tratamentos	31
3.8. Características avaliadas	32
3.8.1. Produtividade	32
3.8.2. Temperatura foliar e conteúdo relativo de água	32
3.8.3. Eficiência de uso da água (EUA).....	33
3.8.4. Fotossíntese e condutância estomática.....	33
3.8.5. Eficiência intrínseca de uso da água ($An\ gs^{-1}$) e eficiência de carboxilação da Rubisco (CEi).....	34
3.8.6. Sistema radicular.....	34
3.8.7. Área Foliar (AF) e Índice da Área Foliar (IAF)	35
3.8.9. Análise de fitormônios e osmorreguladores	36
3.8.10. Características físico-químicas de frutos	37
4. RESULTADO E DISCUSSÃO.....	38

4.1. Aspectos produtivos.....	38
4.2. Temperatura Foliar (TF) e Conteúdo Relativo de Água (CRA).....	42
4.3. Eficiência no uso da água (EUA)	44
4.4. Fotossíntese líquida (An) e condutância estomática (gs).....	45
4.5. Eficiência intrínseca de uso da água (An gs ⁻¹) e eficiência de carboxilação da Rubisco (CEi).....	49
4.6. Sistema radicular.....	51
4.7. Área foliar (AF) e índice da área foliar (IAF)	52
4.8. Discriminação dos isótopos de carbono $\Delta^{13}\text{C}$	55
4.9. Fitormônios e osmorreguladores.....	56
5.CONCLUSÕES.....	64
7. Referência bibliográfica.....	66

1.INTRODUÇÃO

O tomate (*Solanum lycopersicum* L.) é a olerícola de maior importância socioeconômica em volume consumido, tanto *in natura* quanto industrializado, bem como em termos de valor da produção e na geração de empregos. Desempenha elevada importância nutricional em razão da sua fonte de vitamina C e precursor da vitamina A (LEIVA-BRONDO et al., 2016). Ademais, possui pronunciada função antioxidante também associada à vitamina C, a carotenoides – como o β -caroteno e o licopeno – e a flavonoides (PERNICE et al., 2010; PERVEEN et al., 2015). Assim, é uma das principais fontes naturais de licopeno, importante composto antioxidante e anticancerígeno, além de fonte de ácidos (BARANKEVICZ et al., 2015).

O Brasil tem elevada produção de tomate, ocupando mundialmente a nona posição entre os países maiores produtores (FAOSTAT, 2018). No país, a maior produção está concentrada na Região Sudeste, responsável por 46,7% da produção nacional. Nesta região, o Estado de Minas Gerais destaca-se como o maior produtor, sendo responsável por 19,8% do tomate produzido na região (AGRIANUAL, 2018), a maior parte voltada para o consumo *in natura* (PIRES DE CAMARGO, 2017).

A cultura do tomate tipicamente exige elevado suplemento de água durante o seu ciclo. Embora a Região Sudeste, mais especificamente Minas Gerais, apresente, em determinada parte do ano, volume de precipitação pluviométrica adequado ao desenvolvimento da cultura, diminuindo a necessidade de irrigação, a precipitação média na região entre os meses de maio a agosto é inferior a 50 mm, o que exige irrigação (FERREIRA et al., 2010). Aliado a isso, a qualidade dos frutos durante os meses mais secos é maior, o que incentiva o cultivo nesse período.

Com isso, a adoção de práticas de cultivo que visem à otimização da produção, sobretudo aquelas que resultam em maior eficiência no uso da água e proporcionam maior eficiência produtiva das plantas, é crucial no cenário atual, tendo em vista a maior eficiência produtiva e a redução do uso de insumos cada vez mais escassos (JONES, 2002). Por esse motivo, deve-se priorizar, inicialmente, o manejo mais eficiente da irrigação. Nesse sentido, o sistema de irrigação por gotejamento no cultivo irrigado consiste no método que permite maior otimização da eficiência do uso da água porque diminui significativamente a percolação e as perdas por evapotranspiração (JONES, 2002; STANGHELLINI et al., 2003; KIRNAK; DEMIRTAS, 2006).

Associada à irrigação por gotejamento, a adoção de estratégias que confirmam às culturas maior eficiência na exploração das camadas do solo para absorção de água e nutrientes tem recebido atenção especial na agricultura moderna. Isso tem sido alcançado por meio do melhoramento genético, que permite a obtenção de genótipos com características de raízes que os asseguram maior eficiência na absorção de água e nutrientes (WANG, B.; CHEE, 2010), aliado à implementação de estratégias fitotécnicas, especialmente daquelas relacionadas ao manejo das condições físico-químicas do solo e da irrigação.

No que diz respeito ao manejo do solo, a correção eficiente de sua acidez tem efeito pronunciado nos aspectos da raiz, permitindo seu maior desenvolvimento (JIN et al., 2015). Embora pouco difundida na produção de hortaliças, a aplicação de gesso associado ao calcário agrícola é fundamental para a otimização do maior desenvolvimento e aprofundamento das raízes (FREIRE et al., 2014). A associação de calcário agrícola e gesso faz que a correção da acidez do solo tenha maior abrangência do perfil dos solos, permitindo, inclusive, a correção de camadas subsuperficiais. Isso é possível porque a aplicação do calcário permite a correção da acidez do solo na sua camada superficial, onde se concentra a maior parte do sistema radicular do tomateiro (KOST et al., 2018). Por sua vez, o gesso, dada a sua elevada mobilidade, é carregado ao longo das camadas do solo até atingir as subcamadas, onde ocorre a correção da sua acidez. Essa maior mobilidade do gesso no solo atinge também as camadas subsuperficiais e, além de permitir a correção da acidez, otimiza o desenvolvimento e aprofundamento das raízes (SAEED; AHMAD, 2009).

Otimização considerável da irrigação na agricultura moderna tem sido alcançada com a adoção de medidas que proporcionam às culturas maior eficiência na exploração de água e nutrientes ao longo das camadas do solo. Em parte, isso tem sido alcançado a partir do melhoramento genético de plantas, com o desenvolvimento de genótipos com características radiculares que os tornam mais eficientes na absorção de água e nutrientes (KELL, 2011), bem como a implementação de práticas agrícolas, especialmente aquelas que envolvendo o manejo da irrigação e a melhoria de aspectos físico-químicos do solo (FARA et al., 2019; DELAZARI et al., 2019; KHAPTE, et al., 2019).

Associada à irrigação por gotejamento, a aplicação recente de condições de déficit de irrigação controlado (DI) tem se mostrado estratégia promissora para o alcance de maior eficiência da irrigação. A aplicação de DI consiste na adoção de intervalos de irrigação que

resultem na aplicação de menor volume de água, sem que haja comprometimento significativo da produção (KIRDA et al., 2004).

Um aspecto fundamental para garantir maior eficiência no uso da água é assegurar à cultura maior capacidade de explorar e extrair água de camadas mais profundas do solo (JIN et al., 2015; KAHOLON and KHURANA, 2017). Associadas à aplicação do déficit de irrigação, as práticas que proporcionam maior aprofundamento das raízes podem contribuir decisivamente para a maior eficiência do uso da água. Embora haja muitos estudos com a aplicação de déficit hídrico em culturas hortícolas, eles revelam que os efeitos do DI estão intrinsecamente associados à cultura, ao clima da região de cultivo e às condições do solo (PATANÈ; TRINGALI; SORTINO, 2011). Com isso, é prudente que os efeitos do DI sejam avaliados nas condições locais de produção de cada cultura.

Segundo TREJO et al. (2011), a Eficiência de Uso da Água (EUA) pode ser otimizada pela adoção de práticas de irrigação mais eficientes. A esse respeito, a irrigação por gotejamento contribui para melhorar a EUA, reduzindo significativamente o escoamento e a evapotranspiração da cultura (ETc) (KIRNAK; DEMIRTAS, 2006). Por essas razões, os sistemas de irrigação por gotejamento têm sido amplamente utilizados no mundo nos últimos anos.

Além da irrigação adequada que possibilita melhor eficiência no uso da água, o arranjo entre plantas contribui para a absorção de radiação solar e possibilita maior fotossíntese. Apesar de existirem vários trabalhos em direção desse assunto de tutoramento de plantas, o tipo de tutoramento utilizado pode alterar a distribuição da ventilação, luminosidade e radiação em torno das plantas (ALMEIDA, V. D. S., 2015). Influencia também a umidade relativa do ar e a entrada de CO₂ entre fileiras e entre plantas (MACPHERSON et al., 2005), além de afetar o processo fotossintético.

O fator que mais limita o crescimento e fotossíntese das plantas é o déficit hídrico (ZOTARELLI et al., 2009). Igualmente, quantidades de suprimento de água estão associadas a conteúdo relativo de água em células vegetais. Células das folhas que sofrem de déficit hídrico apresentam dificuldades no processo fotossintético como limitação das trocas gasosas, ruptura do metabolismo e da estrutura celular (YUAN et al., 2005; Sebastião et al., 2016).

Fisiologicamente, o funcionamento da planta reque a abertura estomática para manutenção de algumas trocas gasosas. É a partir da abertura estomática que ocorre a entrada, nas câmaras subestomática, de componentes essenciais à fotossíntese como o CO₂ (HOLBROOK, 2017). No entanto, deve-se enfatizar que uma abertura estomática maior

idealmente deve ser positivamente correlacionada com outros parâmetros fisiológicos, como maior WUE (FARA et al., 2019; WANG et al., 2018), além de expressar correlação adequada com a área foliar, índice de área foliar e discriminação isotópica de carbono dentro das folhas, as quais, juntas, podem melhor informar o status fisiológico das plantas.

Muitas plantas são capazes de suportar consideráveis deficiências hídricas, sem o fechamento completo dos estômatos, o que permite a fixação do CO₂ mesmo sob variações acentuadas no teor de água da folha. No mesmo tempo, outras plantas favorecem o fechamento total ou parcial dos estômatos, o que limita a perda de água, assim como a fixação do CO₂ (FLORES; SILVA, 2008). Além disso, hormônios vegetais, como o ácido abscísico (ABA), estão relacionados ao estatus hídrico da planta e seu nível no tecido da planta tende a aumentar sob as restrições da água, tornando-o um marcador do estresse hídrico (SIRICHANDRA et al., 2010; CUTLER et al., 2010).). Também nesta linha, os hormônios fito-hormonais (ABA, Zeatina) e osmorreguladores (putrescina e prolina) regulam os mecanismos de osmorregulação nas plantas, permitindo resistência à seca (FUJITA ,2011;SAH et al.,2016).

A manutenção de aspectos relacionados à qualidade da frutos também deve receber atenção em qualquer prática agrícola na produção de tomate, principalmente no caso de produção destinada ao consumo in natura. Entre esses aspectos, a coloração dos frutos, por exemplo, é determinante para a aceitabilidade dos frutos durante a comercialização de frutos destinados ao consumo fresco. Além disso, aspectos como grau brix e firmeza do fruto também são importantes na aceitabilidade do fruto, relacionados a aspectos sensoriais durante o consumo.

Nesse sentido, este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes intervalos de irrigação sobre o comportamento produtivo, a eficiência fotossintética e as respostas morfofisiológicas e qualidade dos frutos do tomateiro híbrido Santyno cultivado em campo aberto na região de Viçosa, MG, visando definir critérios para o manejo adequado da irrigação.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Cultura de tomateiro

O tomate (*Solanum lycopersicum* L.) é uma das olerícolas produzidas no mundo, estando presente diariamente na alimentação de grande parte da população no mundo. Tanto na forma *in natura* quanto industrializada, o tomate desempenha elevada importância nutricional

em função de seu importante fonte de vitamina C e precursor da vitamina A (LEIVA-BRONDO et al. 2012). Também a expressiva produção do tomate está associada à sua versatilidade de consumo e aos benefícios que oferece à saúde, especialmente aqueles compreendidos por atividades antioxidantes; no caso de licopeno e β -caroteno (LI et al. al., 2012; KAVITHA et al., 2013; PERVEEN et al., 2015).

A cultura de tomate é originária da América do Sul, numa região compreendida entre o Equador e o norte do Chile, na Bolívia e no Peru. Os Incas e os Maias já o conheciam como tomate (SAAVEDRA, 2017). De acordo com o mesmo autor, as sementes seguiram o caminho para o sul do México, onde os espanhóis em poder dos Aztecas encontraram o tomateiro. Assim os espanhóis levaram as sementes para a Espanha e de lá para a Itália. Segundo MURAYAMA (1983), da Europa, o tomateiro foi introduzido pelos colonizadores portugueses no Brasil. O tomateiro é uma herbácea de caule mole flexível; é uma planta eudicotiledônea da ordem Tubiflora e, pertencente à família *Solanaceae*.

No Brasil devido a sua adaptação a condições climáticas tropical, o tomateiro é cultivado em todos os estados. Em 2014, a produção de tomate no Brasil, foi de 4.292,9 de toneladas, em uma área de 65,2 mil hectares, o que coloca o país entre os maiores produtores mundiais (FAOSTAT 2015). Assim o Brasil tem elevada produção de tomate, ocupando mundialmente a nona posição entre os países com maior produção (FAOSTATE, 2018). Já em 2018, o estado de Minas Gerais responde por 19,8% da produção regional (AGRIANUAL, 2018), principalmente para o consumo in natura (CAMERGO FILHO e DE CAMARGO, 2017).

A cultura do tomate tipicamente exige elevado suplemento de água durante o seu ciclo. Diante disso, o sistema de irrigação por gotejamento no cultivo irrigado, consiste no método que permite maior otimização da eficiência do uso da água nesta cultura, por permitir a redução significativa da percolação e as perdas por evapotranspiração (STANGHELLINI et al., 2003; JONES, 2004; KIRNAK e DEMIRTAS, 2006). Associada à irrigação por gotejamento, a aplicação recente de condições de déficit de irrigação controlado (DI), tem se mostrado uma estratégia promissora para o alcance de maior eficiência na irrigação (KIRDA,2002).

2.2. Eficiência fotossintética do tomateiro

Para se obter boa produtividade, é importante assegurar boa eficiência fotossintética .Já que o fator que mais limita o crescimento e a fotossíntese das plantas é o déficit hídrico (ZOTARELLI et al., 2009). Dessa forma é importante promover técnicas de cultivo que ajude

ou seja melhora funções biológicas das plantas tal como absorção de água e nutrientes; utilização de CO₂ que promova abertura estomática no dossel das folhas do tomateiro em tempo maior (ALMEIDA et al., 2017; DELAZARI; FARA et al., 2019).

Mantendo os estômatos aberto pelo manejo da irrigação favorece melhor absorção de CO₂, isto é melhor fotossíntese e por conseguinte aumento na produtividade (FRANKS et al. 2009; ZHENG et al. 2011; WEI et al., 2016). De acordo com CORNIC (1996) diminuição drástica do potencial de água foliar influencia a eficiência de carboxilação da Rubisco e reduz o carbono interno (Ci) devido a uma limitação da abertura estomática. Também em condição de déficit hídrico, pode ser observado redução das taxas de fixação do CO₂ por redução da síntese e atividade da Rubisco, redução da regeneração da RuBP ou redução na síntese de ATP (MEDRANO, 2002). De forma fisiológica, o funcionamento de Rubisco requer a abertura estomática para manutenção de algumas trocas gasosas (HOLBROOK, 2017).

Por isso o aumento da eficiência de uso de água (EUA) é muito importante e pode ser otimizado pela adoção de práticas de irrigação mais eficientes (COSTA et al., 2007; BERTOLINO, 2019). A este respeito, a irrigação por gotejamento contribuiu para melhorar o EUA, reduzindo significativamente a evapotranspiração da cultura (ET_c) (STANGHELLINI et al., 2003; JONES, 2004; KIRNAK e DEMIRTAS, 2006). Assim a manutenção constante da abertura estomática mostra a necessidade da compreensão dos efeitos das trocas gasosas em tomateiro e a sua importância no aumento da produtividade.

2.3. Enraizamento

A distribuição da densidade radicular da planta pode afetar a absorção de água pelas raízes e, por sua vez, influenciar a distribuição da água no solo (VRUGT et al., 2001a). As raízes absorvem a água e dissolvem os nutrientes do solo, transferindo-os para a planta. ZOTARELLI et al. (2009) relataram que a densidade radicular é maior nas camadas mais profundas do solo sob irrigação por sulcos, enquanto é maior nas camadas superficial do solo sob irrigação por gotejamento. Da mesma forma MACHADO, (2005); CHEN et al., (2014) apontaram que o teor de água no solo é pouco influenciado pela captação de água pelas raízes abaixo de 60 cm de profundidade até 80 cm de profundidade, devido à baixa densidade de raízes abaixo de 60 cm de profundidade.

Por outro lado, quando moderada, a deficiência hídrica pode aumentar a densidade das raízes, particularmente nas camadas mais profundas do solo (JIN et al., 2015; LI et al., 2010). Embora de acordo com CUI et al., (2020) a aplicação do estresse hídrico em estágio I vegetativo

pode ser uma abordagem de gerenciamento positivo, pois economiza água e aumenta produtividade comparado com a aplicação do estresse hídrico nos outros estágios críticos de crescimento, minimizando efeitos adversos do estresse hídrico. Água e nutrientes do solo são os dois fatores importantes que afetam o crescimento vegetativo e a reprodução de tomates pois o efeito da irrigação e das doses de nitrogênio (N) na produção de frutos, de matéria seca e na absorção de N muda significativamente com as características das raízes(WANG,et al.,2019).

O tomateiro tem a capacidade de se adaptar morfológicamente a carência de água ou em ambientes ricos em água (PREECE e PEÑUELAS 2016). Tanto as raízes como sensores do status de água no solo, quanto a capacidade dos brotos de se adaptarem morfológicamente ao ambiente do solo, geralmente dependem de melhores condições de crescimento radicular e umidade do solo (KOEVOETS et al. 2016). Por outro lado, a falta de água faz com que as raízes das plantas cresçam mais profundamente em busca de água e modifica o comportamento morfológico das raízes, reduzindo simultaneamente as raízes laterais (FAUCON et al. 2017; ROMERO-ARANDA et al. 2001).

A irrigação por deficit é uma estratégia agrícola de manejo de água em que a planta tem capacidade de adaptação fisiológica na distribuição radicular no perfil do solo em busca de camadas do solo onde não ocorra limitação hídrica (TOPCU et al., 2007;LI et al., 2010). A falta de água reduz a densidade das raízes e a sua distribuição restringindo seu crescimento (HUI,2017; SUN et al., 2018). De acordo com LI et al., (2010); JIA et al., (2018) técnicas que favoreçam o maior desenvolvimento do sistema radicular e seu aprofundamento ao longo do perfil de solo tem importância capital para melhorar a absorção de água e nutrientes pelas plantas.

2.4. Fitohormônios, osmoreguladores e qualidade de frutos

Em geral, a maioria das pesquisas sobre irrigação de tomate é dedicada ao estudo das respostas de rendimento e qualidade ao estresse hídrico (MAHAJAN e SINGH, 2006; TOPCU et al., 2007; ISMAIL et al., 2008; LI et al., 2010). Fitormônios (ABA, zeatina) e osmorreguladores (putrescina e prolina) regulam os mecanismos de osmorregulação em plantas, permitindo que estas resistam à seca (SIRICHANDRA et al., 2010). O acúmulo de osmólitos compatíveis é uma estratégia de defesa para evitar ao máximo a perda de água na planta.O acúmulo do hormônio do estresse, o ácido abscísico (ABA), induz muitos mecanismos celulares associados à resistência à seca como por exemplo a regulação da abertura estomática (MULLER& MUNNÉ-BOSCH, 2011;VERSLUES, 2016). Além de seu papel na

regulação da abertura estomática, que é necessária para limitar a perda de água das folhas em condições de seca, o ABA induz a expressão de muitos genes cujos produtos são importantes para respostas ao estresse e tolerância, como enzimas para a síntese de osmoprotetores (FUJITA et al., 2011; SAH, et al.,2016). Por outro lado a prolina, poliaminas, glicina, sacaros, são osmólitos que se acumulam no vacúolo para para resistência a seca (ASHRAF et al., 2011; MARIJUAN,2013). Embora os solutos orgânicos como carboidratos também atuam como osmoprotetores preservando a integridade das membranas celulares, de proteínas, e enzimas contra produtos tóxicos do metabolismo resultantes do estresse hídrico (ASHRAF et al., 2011; MUNNÉ-BOSCH, 2013). Os carboidratos tanto na forma de açúcares altamente solúveis e higroscópicos como a sacarose e hexoses quanto na forma de polissacarídeos com baixa atividade osmótica como o amido podem se armazenar no vacúolos das células como osmoprotetores (WHITTAKER et al., 2007). Também glicina betaína (GB) e prolina são dois principais osmólitos orgânicos que se acumulam em uma variedade de espécies de plantas em resposta às estresses como a seca, salinidade, temperaturas extremas, radiação UV e metais pesados (ASHRAFA & FOOLAD, 2007). Para os mesmos autores, esses osmólitos têm um papel importante na melhoria da resistência e tolerância ao estresse abiótico das plantas. Além disso, como alguns desses solutos também protegem os componentes celulares de lesões por desidratação, eles são comumente referidos como osmoprotetores (RHODES E HANSON, 1993). Para os mesmos autores, estes solutos incluem compostos de prolina, sacarose, polióis, trealose e amônio quaternário (QACs), como glicina betaína, alaninabetaína, prolinebetaína, O-sulfato de colina, hidroxiprolinabetaína e pipecolatebetaína.

Sabe-se que a prolina está presente amplamente em plantas superiores e normalmente se acumula em grandes quantidades em resposta a tensões ambientais (HSU et al., 2003; KAVI KISHORE et al., 2005). Além de seu papel como osmólito para ajuste osmótico, a prolina contribui para estabilizar as estruturas subcelulares (por exemplo, membranas e proteínas), eliminar os radicais livres e tamponar o potencial redox celular sob condições de estresse (CLAUSEN,2005; KAHLAOUI et al.,2018).

Em áreas onde o suprimento de água para irrigação é limitado, a produção de tomate é frequentemente sujeita a estresse hídrico. Há um impacto na firmeza dos frutos, mas os tratamentos com déficit não afetam o teor de água dos frutos (CUI et al., 2020). O tomate é considerado uma cultura com alta demanda de água, mas é moderadamente tolerante à seca (KARLBERG et al., 2007). A irrigação é a fonte mais importante de água para o tomate, tornando-o um dos principais determinantes para afetar qualidade dos frutos e rendimento. A

seca limita a produtividade de culturas e hortaliças, induzindo diferentes alterações morfológicas, fisiológicas e moleculares nas plantas, o que conseqüentemente reduz o rendimento e qualidade dos frutos (ASHRAF, 2013; PETROVIC,2019).

Da mesma forma, disfunções morfológicas, fisiológicas e bioquímicas nos vegetais podem ser observados por restrição hídrica e pode causar mudanças no seu metabolismo celular. De acordo com TAIZ & ZEIGER, (2013), anota se diminuição da taxa fotossintética, fechamento estomático para redução da perda de água por evaporação e diminuição da absorção de CO₂ a nível celular em condição de restrição hídrica. Além disso, aspectos como grau brix e firmeza, acidez estão diretamente ligados ao estresse hídrico. O efeito das condições de déficit hídrico no cultivo de frutos de tomate não tem efeito significativo na matéria seca; sólidos solúveis (SST) e pH (KLUNKLIN & SAVAGE 2017). Resultados de SUN et al. (2014) mostraram que o aumento do ácido orgânico não diminui necessariamente a qualidade das frutas. O aumento de açúcares e ácidos orgânicos pode melhorar a qualidade do tomate sob estresse hídrico (NAHAR et al., 2011). Sob estresse biótico ou abiótico as plantas sofrem alterações bioquímicas, o que favorece a produção de Espécies Reativas de Oxigênio (EROs) altamente tóxicas e causando danos a proteínas, lipídios, carboidratos, DNA e finalmente pode até levar a morte celular (MARRACCINI et al., 2012). O teor de matéria seca de tomate, como vitamina C, licopeno e potássio, também é afetado pelo genótipo e pelo ambiente de crescimento (HART; SCOTT, 1995; PETROVIC,2019).

A qualidade de um produto começa com as condições de crescimento e a área onde é produzido. Outros fatores subsequentes que determinam a qualidade de frutos e legumes incluem os métodos de colheita, o ambiente pós-colheita, da maturidade biológica, as condições de manuseio e armazenamento (KADER, 2008). Apesar da grande variabilidade de cultivares locais, a produção mundial de tomate se concentra em alguns genótipos modernos, com melhores taxas de produção, mas significativamente com menos sabor e qualidade (TIEMAN et al., 2017). Para GALDON-ARMERO et al., (2018), o déficit hídrico tem um alto impacto em quase todas as características de qualidades de frutos. Assim, a discriminação isotópica de carbono ($\delta^{13}C$), área foliar (AF), sólidos solúveis (SST) e acidez (AT) aumentam seus valores enquanto produtividade e peso dos frutos diminuem.

Portanto sob condições de estresse, a $\delta^{13}C$ foi amplamente utilizado como indicador da eficiência de uso de água (WUE) em várias culturas (GALMÉS et al., 2011; ADIREDDY et al., 2014;). Na mesma linha é correlacionada com outros indicadores como a eficiência intrínseca ao uso da água (WUE_i) definida como a razão de carbono assimilado pela água perdidos

(GALDON-ARMERO et al., 2018). Entretanto, plantas com aumento do WUE estão geralmente relacionados a rendimentos mais baixos (TARDIEU, 2011).

3. MATERIAL E MÉTODO

3.1. Área experimental

Os experimentos foram realizados na Unidade de Pesquisa “Horta Velha” do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa (20° 45’ S, longitude de 42° 52’ W e altitude de 648 m). Foram realizados dois experimentos, o primeiro no período de maio a outubro de 2017 (Experimento 1) e o segundo de março a agosto de 2018 (Experimento 2).

3.2. Características químicas e físico-hídricas do solo de cultivo e adubação

Os experimentos foram realizados em campo aberto, cujo solo passou pelas análises físico-hídricas e químicas executadas pelo Laboratório de Física do Solo da UFV. As características químicas e físico-hídricas do solo da área experimental foram determinadas em três camadas (0-20, 20-40 e 40-60 cm) (Tabela 1). As médias do pH H₂O do solo foram 6,1 em 2017 e 5,49 em 2018, com o fósforo remanescente em torno de 23,73 (mg L⁻¹) em 2017 e 21,66 (mg L⁻¹) em 2018. Os teores de macro e micronutrientes (P, K, Ca, Mg, Al, H+Al, Cu, Fe, Mn, Zn, B e Mo) foram determinados também nas mesmas amostras colhidas antes do preparo do solo, que foi realizado com subsolador de haste de 60 cm, para quebrar e arejar partículas compactas. O benefício da subsolagem é aumentar a quantidade de matérias orgânicas no solo e favorecer a liberação da água e do ar presos no solo em suas diferentes camadas. Em seguida foi aplicado o calcário para neutralizar a acidez e aumentar, então, a saturação por base com a adição, ao mesmo tempo, do gesso, que tem a propriedade de carrear os nutrientes para profundidades adequadas, a fim de suprir as raízes com nutrientes, principalmente cálcio e magnésio (Ca²⁺ e Mg²⁺).

Para a adubação da cultura foram seguidas as recomendações da 5ª aproximação, como referência tanto para a correção da acidez do solo quanto para as quantidades corretas de adubo a ser aplicado na cultura. De acordo com a “Recomendação de Uso de Fertilizantes para o Estado de Minas Gerais – 5ª aproximação” (RIBEIRO; GUIMARÃES; ALVAREZ, 1999), foram aplicadas as quantidades de 3,20 e 3,45 t ha⁻¹ do calcário dolomítico (PRNT = 76%) e 1,10 e 1,98 t ha⁻¹ de gesso agrícola nos dois experimentos (Exp. 1 – 2017) e (Exp. 2 – 2018). Após a aplicação de gesso e calcário duas semanas antes do transplante, uma irrigação prévia

da área experimental foi efetuada para permitir boa incorporação do calcário e do magnésio, agentes corretores da acidez do solo.

Os fertilizantes utilizados durante o ciclo da cultura foram o fosfato monoamônico (1.423,00 kg ha⁻¹), o cloreto de potássio (689,7 kg ha⁻¹), o nitrato de cálcio (452,7 kg ha⁻¹), o sulfato de magnésio (169,2 kg ha⁻¹) e o ácido bórico (29,4 kg ha⁻¹). Essas quantidades de adubo foram parceladas semanalmente, em um total de 18 semanas de fertilização do tomateiro.

Tabela 1:- Características químicas do solo da área experimental, em três camadas (0-20, 20-40 e 40-60 cm), Viçosa-MG, 2017/2018.

Experimentos	Exp. 1 (2017)			Exp. 2 (2018)		
	0-20	20-40	40-60	0-20	20-40	40-60
pH H ₂ O	6,00	6,00	6,30	6,18	5,19	5,10
P (mg dm ⁻³)	123,50	34,40	8,90	162,70	64,00	11,50
K (mg dm ⁻³)	200,00	79,00	37,00	480,00	124,00	80,00
Ca ²⁺ (cmolc dm ⁻³)	3,70	2,90	2,30	5,02	3,64	3,34
Mg ²⁺ (cmolc dm ⁻³)	0,70	0,50	0,40	1,30	0,71	0,66
Al ³⁺ (cmolc dm ⁻³)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H+Al (cmolc dm ⁻³)	3,47	2,48	1,65	3,00	4,30	3,40
T (cmolc dm ⁻³)	8,40	6,10	4,40	10,55	8,97	7,61
V (%)	59,00	59,00	63,00	71,60	52,10	55,30
m (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MO (dag kg ⁻¹)	2,40	1,76	1,45	3,16	2,24	1,71
P-rem (mg L ⁻¹)	30,9	24,0	16,3	29,20	23,20	12,60
Zn (mg dm ⁻³)	9,20	3,90	1,30	9,53	4,75	2,20
Fe (mg dm ⁻³)	78,90	54,20	40,90	65,30	58,50	61,20
Mn (mg dm ⁻³)	51,60	23,30	13,00	57,50	27,40	19,20
Cu (mg dm ⁻³)	3,90	3,30	2,90	8,61	6,58	4,95
B (mg dm ⁻³)	0,40	0,30	0,10	1,22	1,32	1,11
θFC (m ³ m ⁻³) ¹	0,40	0,44	0,50	0,40	0,44	0,50
θWP (m ³ m ⁻³) ²	0,27	0,30	0,35	0,27	0,30	0,35
Ds (g cm ⁻³)	1,21	1,28	1,40	1,21	1,28	1,40

P, K, Fe, Zn, Mn e Cu disponíveis extraídos com Mehlich I; Ca, Mg e Al trocáveis extraídos com KCl 1 mol L⁻¹; Acidez potencial a pH 7,0 extraída com acetato de cálcio 1 mol L⁻¹; B extraído com água quente.¹Capacidade de campo (θ_{FC}) e ²ponto de murcha permanente (θ_{WP}).

3.3. Preparo de mudas e controle de pragas e doenças

Utilizamos um híbrido de tomate para mesa “Santyno”, que produz frutos de tomate tipo Santa Cruz (AGRISTAR-HORTITEC). Este híbrido é resistente a F3, TYLCV (geminivírus), TSWV (vira-cabeça) e nematoides e apresenta, ainda, alta produtividade e frutos de bom tamanho.

A semeadura foi realizada em bandejas de isopor de polietileno de 128 células previamente preenchidas com substrato de fibra de coco comercial (Golden Mix). As mudas foram transplantadas 25 dias após a semeadura, quando as plantas estavam com quatro folhas expandidas. Obteve-se uma população de mudas de 25.000 pl ha⁻¹, ou seja, 2,5 plantas m⁻².

Após a produção das mudas, o controle de plantas daninhas, de doenças e de pragas foi realizado de acordo com o sistema técnico utilizado na Horta de Pesquisa da Universidade Federal de Viçosa. Os tratos culturais – desbrotas, capinas, controle de pragas e doenças – foram feitos de acordo com a recomendação de Almeida, V. S. et al. (2015).

3.4. Sistema de cultivo

As plantas foram tutoradas em Sistema Viçosa com fitilhos e inclinadas a 75°, aproximadamente, do solo. Utilizaram-se estacas de eucalipto para apoiar dois fios de arame, em que os fitilhos foram fixados de forma alterne-interne, de modo a constituir um “V” normal.



Figura 1- Sistema de cultivo “Viçosa” com tomate para mesa na Unidade Experimental de Pesquisa e Extensão (UEPE UFV) Viçosa-MG, 2017/2018.

3.5. Manejo da irrigação e variáveis ambientais

O manejo da irrigação do experimento foi realizado a partir do cálculo da evapotranspiração da cultura (ET_c), isto é, o cálculo da lâmina de irrigação a ser aplicada é obtido a partir da quantidade de água perdida pela transpiração da cultura e pela evaporação do solo (K_e). Portanto, a entrada de água na cultura se faz por meio de nosso equipamento de irrigação mais a precipitação. Recorrendo às equações propostas por Allen *et al.* (1998) e Angeli *et al.* (2016), foi possível estimar a evapotranspiração da cultura.

$$ET_c = ET_o \times K_c \quad (1)$$

$$K_c = (K_{cb} \times K_s) + K_e \quad (2)$$

em que:

ET_c = evapotranspiração da cultura, em mm d^{-1} ;

ET_o = evapotranspiração de referência, em mm d^{-1} ;

K_c = coeficiente da cultura, adimensional;

K_{cb} = coeficiente basal da cultura, adimensional;

K_e = coeficiente da evaporação do solo, adimensional; e

K_s = coeficiente de estresse, adimensional.

A Porcentagem da Área Molhada (PAM) utilizada foi de 40,0%, com eficiência de irrigação de 98,3. Os valores de K_{cb} inicial de 0,15, intermediário de 1,15 e final de 0,70 foram obtidos de acordo com a recomendação de Allen et al. (2006) e Delazari et al. (2016). O coeficiente basal da cultura difere com a fase da cultura (crescimento vegetativo, floração, frutificação). Portanto, o coeficiente da cultura K_c é função de vários parâmetros edafoclimáticos do ambiente. As flutuações da temperatura, radiação e umidade relativa do ar afetam o coeficiente da cultura (K_c) e, conseqüentemente, a evapotranspiração (ET_c) (Tabela 2). A obtenção da ET_c do dia permitiu calcular a lâmina de água a repor na cultura pelo sistema de gotejo implantado pelo equipamento de marca Naan Dan Jain Irrigation, modelo Amnon Drip. Esse equipamento operou com vazão real de 2,20 L h⁻¹, com 0,2 m de espaçamento entre emissores e 2,0 m entre linhas laterais.

A avaliação da uniformidade do sistema de irrigação foi realizada com base no Coeficiente de Uniformidade de Christiansen – CUC (MANTOVANI et al., 2013).

Tabela 2: Evapotranspiração da cultura (ET_c) e soma de água total aplicada

Experimentos	Frequência (dias)	Precipitação (mm)	IRN (mm)	ITN (mm)	Precipitação +ITN(mm)	ETc (mm)
Exp. 1 (2017)	1	91,62	317,27	322,71	414,33	357,86
	3	91,62	308,35	313,68	405,3	357,86
	5	91,62	298,55	303,71	395,33	357,86
	7	91,62	312,35	317,75	409,37	357,86
	9	91,62	286,74	391,7	483,32	357,86
2018						
Exp. 2 (2018)	1	100,7	210,17	219,15	319,85	228,18
	3	100,7	204,41	213,15	313,85	228,18
	5	100,7	200,20	208,76	309,46	228,18

7	100,7	189,02	197,1	297,8	228,18
9	100,7	196,94	205,36	306,06	228,18

IRN*Irrigação Real Necessária

ITN*Irrigação Total Necessária

Nota-se que a quantidade de água aplicada nos tratamentos foi sempre maior do que a da evapotranspiração (ETc) da cultura. Isso para atender à demanda real de água necessária (IRN), de acordo com a eficiência de irrigação do equipamento ($E_i = 95,9$).

Os dados meteorológicos foram obtidos a partir de uma Estação Meteorológica IRRIPLUS Equipamentos E5000 instalada na área experimental. As principais variáveis climáticas consideradas para cálculo da lâmina de irrigação por tratamento foram a precipitação (mm), a radiação solar (MJ m^{-2}), a umidade relativa do ar (%) e a temperatura ($^{\circ}\text{C}$). Com esses dados, foram calculados o déficit de pressão de vapor (DPV) e o tempo de irrigação de cada tratamento. O tempo de irrigação depende, principalmente, da quantidade de água perdida pela cultura durante o dia. A temperatura e a radiação solar têm efeito sobre o déficit de pressão de vapor (DVP), que é calculado a partir da pressão de saturação de vapor d'água no ar e da pressão parcial de vapor d'água.

A umidade relativa do ar durante os dois anos consecutivos do experimento foi de 78% e 87,61% (Figura 1b).

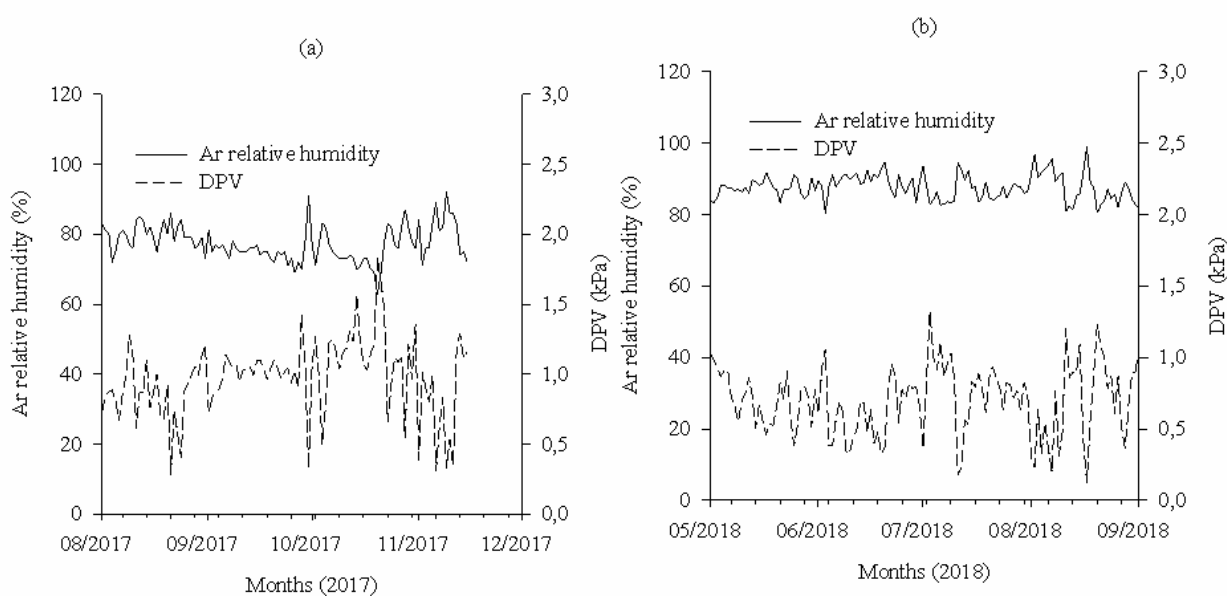


Figura 2(a) Umidade relativa do ar e (b) Déficit de pressão de vapor em 2017 e 2018. Viçosa, Minas Gerais, Brasil

O DPV foi calculado conforme a proposta da equação de Allen *et al.* (1998b):

$$e_s = 0.6108 \times e^{\left[\frac{17.5 \times T}{237.3 + T} \right]} \quad (3)$$

$$e_a = \frac{UR \times e_s}{100} \quad (4)$$

$$DPV = (e_s - e_a) \quad (5)$$

em que:

e_s = pressão de saturação de vapor d'água no ar (kPa);

T = temperatura do ar (°C);

e_a = pressão parcial de vapor d'água (kPa);

UR = umidade relativa do ar (%); e

DPV = déficit de pressão de vapor d'água no ar (kPa).

Além disso, a manutenção de um menor DPV aumenta a biomassa média de plantas e a produtividade em 17,3% e 12,3%, respectivamente (LU et al., 2015).

A radiação solar média ao redor dos ensaios experimentais foi de 18,80 (MJ m⁻²d⁻¹) em 2017 e de 12,82 (MJ m⁻²d⁻¹) em 2018, e a evapotranspiração média (ET_o) foi de 3,4 (mmd⁻¹) no ano 2017 e 2,00 (mmd⁻¹) em 2018 (Figura 2ab). Já as temperaturas médias do ambiente durante os ensaios experimentais foram de 20,17 °C e de 18,05 °C, respectivamente, nos anos 2017 e 2018.

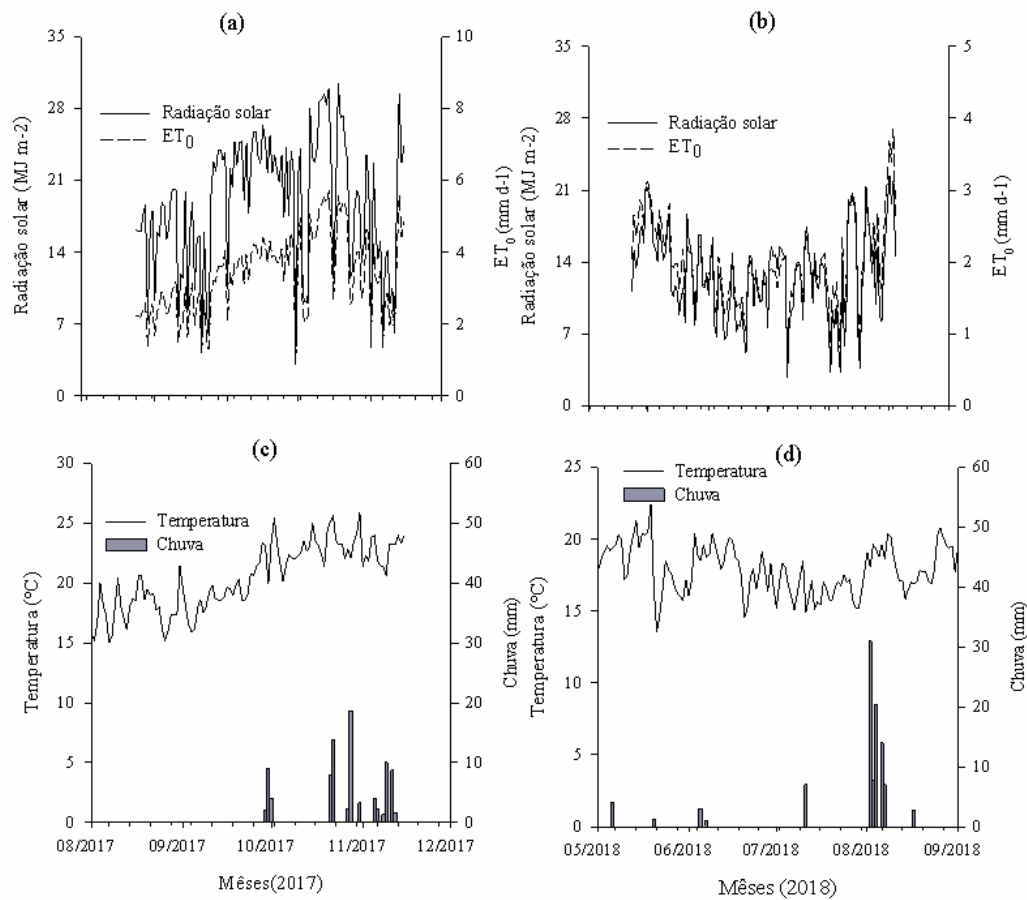


Figura 3– (a) e (b) radiação solar (MJm-2) e evapotranspiração (mm d-1) (c) e (d) temperatura (°C) e chuva (mm), nos anos 2017e 2018 em Viçosa, Minas Gerais, Brasil

3.6. Delineamento experimental

Os experimentos foram realizados em blocos ao acaso com cinco tratamentos e cinco repetições. As parcelas experimentais possuíam 12 m, compostas por 60 plantas com área total de 24 m² e 13 plantas centrais, utilizadas nas avaliações, com área útil de 5,2 m².

3.7. Tratamentos

Os tratamentos consistiram em irrigar as plantas com diferentes intervalos, a fim de avaliar as características morfofisiológicas em tomateiro.

- ✓ Intervalo de irrigação I1 – Reposição da lâmina de água evapotranspirada todos os dias.
- ✓ Intervalo de irrigação I2 – Reposição da lâmina de água evapotranspirada a cada três dias.
- ✓ Intervalo de irrigação I3 – Reposição da lâmina de água evapotranspirada a cada cinco dias.

✓ Intervalo de irrigação I4 – Reposição da lâmina de água de evapotranspiração a cada sete dias.

✓ Intervalo de irrigação I5 – Reposição da lâmina de água de evapotranspiração a cada nove dias.

3.8. Características avaliadas

As avaliações experimentais foram semanais, em razão do estado de desenvolvimento e do ciclo da cultura.

3.8.1. Produtividade

A produtividade foi avaliada em colheitas semanais de cada tratamento. Os frutos foram pesados e classificados por classe de tamanho, segundo as normas do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2002). Os frutos grandes foram os tomates com diâmetro superior ou igual a 60 mm, frutos médios aqueles com diâmetro de 50-60 mm e tomates pequenos os com diâmetro inferior a 50 mm. Os frutos com defeito foram descartados. A partir da massa dos frutos grandes, médios e pequenos, foi possível calcular a produtividade de tomates grandes (PFG) e médios (PFM), a produtividade comercial (PC) e a produtividade total (PT), em tonelada por hectare (t/ha).

3.8.2. Temperatura foliar e conteúdo relativo de água

As temperaturas foliares foram aferidas semanalmente com termômetro de infravermelho com cinco repetições por tratamento. As medidas foram tomadas dos terços superior, médio e inferior da planta num período ensolarado, das 11 horas às 15 horas. As medições foram repetidas durante as fases vegetativa e reprodutiva do ciclo de cultivo. No entanto, o conteúdo relativo de água nas folhas foi medido de acordo com o procedimento descrito pelos pesquisadores Barrs e Weatherley (1962).

$$RWC(\%) = \frac{(FW - DW)}{(TW - DW)} \times 100$$

em que (FW) é peso fresco, (DW) é peso seco e (TW) é peso turgido.

3.8.3. Eficiência de uso da água (EUA)

A Eficiência no Uso da Água (EUA) foi definida pela relação entre a produção comercial (PC) e o volume de água aplicada (V), expressa em kg m^{-3} .

$$EUA = \frac{PC}{V}$$

em que EUA é a eficiência no uso da água, em kg m^{-3} ; PC, produção comercial, em kg; e V, volume de água aplicada.

3.8.4. Fotossíntese e condutância estomática

Para medição da taxa de absorção de CO_2 pelas plantas, foi usado o Infra Red Gas Analyser (IRGA), modelo portátil LI-6400, LI-COR Biosciences Inc., Lincoln, Nebraska, USA. O IRGA é uma montagem de instrumentos para medição de CO_2 , H_2O , temperatura do ar e da folha, irradiância e pressão. Esses parâmetros são utilizados para o cálculo da taxa fotossintética líquida (A), condutância estomática (g_s), taxa de transpiração, razão entre concentrações interna e externa de CO_2 (C_i/C_a). Portanto, a fotossíntese líquida pode ser calculada pela equação:

$$A = (C_a - C_i)g_s$$

em que:

C_a = concentração atmosférica de CO_2 ;

C_i = concentração mesofilica de CO_2 ;

g_s = condutância estomática;

As medições foram realizadas de manhã, das 7 horas às 10 horas.



Figura 4: Foto do Infra Red Gas Analyser (IRGA), modelo portátil LI-6400, LI-COR Biosciences Inc., Lincon, Nebraska, USA em uso na Unidade Experimental de Pesquisa e Extensão (UEPE UFV); Viçosa-MG,2017/2018.

3.8.5. Eficiência intrínseca de uso da água ($A_n \text{ gs}^{-1}$) e eficiência de carboxilação da Rubisco (CEi)

A eficiência intrínseca de uso da água ($A_n \text{ gs}^{-1}$) é um parâmetro importante para conhecer a taxa de transpiração relacionada à assimilação do carbono. Podem-se obter o ($A_n \text{ gs}^{-1}$) pelo relatório da fotossíntese líquida e a condutância estomática. Já a eficiência de carboxilação da Rubisco é o relatório entre a fotossíntese líquida e o carbono interno C_i (MACHADO, E. C. et al., 2005).

3.8.6. Sistema radicular

A avaliação do sistema radicular foi realizada no fim dos ensaios experimentais, quando as plantas foram removidas do solo para estudar os efeitos dos tratamentos no comportamento

das raízes na profundidade do solo. As raízes são retiradas numa área de 1.600 cm² (40 x 40) e na profundidade de 80 cm. Raízes laterais foram lavadas e posicionadas para fotografia digital. As raízes laterais primárias, muitas vezes, cresceram horizontalmente dentro de 0 a 20 cm, na camada superficial. A seguir, depois da liberação do solo do sistema radicular, as medidas do comprimento radicular e o peso e densidade das raízes das plantas de cada tratamento foram tomados.

3.8.7. Área Foliar (AF) e Índice da Área Foliar (IAF)

A Dimensão da área foliar (AF) foi estimada com base nas medidas do comprimento e largura máximos das folhas, avaliado a partir de diferentes folhas nas plantas. A área foliar foi estimada com o auxílio do medidor de área foliar modelo LAI3100 (LI-COR). Com base nos dados da área foliar, do comprimento e largura foliar, foi possível obter os índices de Área Foliar (IAF), obtidos a partir das seguintes equações:

$$IAF = \frac{AF}{AP} \quad (6)$$

em que:

IAF corresponde ao índice de área foliar, (m² m⁻²);

AF corresponde área foliar, (m²);

AP corresponde à área ocupada pela planta em (m²);

A área ocupada pela planta foi obtido a partir do produto da distância entre fileiras e da distância entre plantas dentro da fileira.

3.8.8. Discriminação dos isótopos de carbono ($\Delta^{13}\text{C}$, ‰)

As folhas de tomateiro foram coletadas pela manhã, levadas e acondicionadas em caixas de isopor contendo gelo. Em seguida, foram colocadas em estufa para dois dias de secagem.

Após a secagem, as amostras foram moídas em moinho de bola e passadas em peneira de 100 meshes, sendo posteriormente pesadas (1,5 a 2,0 mg) e acondicionadas em cápsulas de estanho. As cápsulas contendo as amostras foram colocadas no carrossel do amostrador do Espectrômetro de Massas de Razão Isotópica (IRMS), da SerCon, modelo 20-20, acoplado ao analisador elementar, da SerCon, modelo ANCA GSL, para análise do teor total de C, bem como da abundância de ¹³C.

Assim, foram determinados a composição isotópica foi relatada como $\delta^{13}\text{C}$ em ‰ usando Vienna Pee Dee Belemnite (V-PDB) como padrão internacional ($R_{\text{padrão}}$). Os valores foram obtidos usando a equação 8 (FARQUHAR, 1989; WEI, 2016).

Após a determinação da composição isotópica, foi obtido (equação 9) a discriminação de isótopos de carbono ($\Delta^{13}\text{C}$, ‰) com base na adoção do valor da composição isotópica de carbono do ar ($\delta^{13}\text{C}_{\text{ar}}$) de -8,0 ‰ (BRUGNOLI, FARQUHAR, 2000)

$$\delta^{13}\text{C}_{\text{amostra}} = \left(\frac{R_{\text{amostra}}}{R_{\text{padrão}}} - 1 \right) \times 1000 \quad (7)$$

$$\Delta^{13}\text{C} = \left[\frac{\delta^{13}\text{C}_{\text{ar}} - \delta^{13}\text{C}_p}{1 + \delta^{13}\text{C}_p} \right] \times 1000 \quad (8)$$

em que:

$\delta^{13}\text{C}_{\text{amostra}}$ corresponde à composição isotópica de carbono da amostra (‰);

R_{amostra} corresponde à razão isotópica $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ da amostra;

$R_{\text{padrão}}$ corresponde à razão isotópica $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ do padrão;

$\Delta^{13}\text{C}$ corresponde à discriminação isotópica do carbono (mm d^{-1});

$\delta^{13}\text{C}_{\text{ar}}$ corresponde à composição isotópica de carbono do ar (‰); e

$\delta^{13}\text{C}_p$ corresponde à composição isotópica de carbono da planta (‰).

3.8.9. Análise de fitormônios e osmorreguladores

Para extração, foi adicionado 300 mL de solução extratora (metanol: isopropanol: ácido acético 20: 79: 1) à amostras de 110 mg de tecido foliar previamente macerado em nitrogênio líquido. As amostras foram submetidas a vortex (4 vezes por 20 segundos), depois sonicadas por cinco minutos e posteriormente armazenadas em recipiente com gelo por meia hora. Após esta etapa, foi coletado 250 μL do sobrenadante, o qual foi em seguida transferido para novos tubos. A partir do sedimento resultante, procedeu-se uma segunda extração e o sobrenadante coletado foi adicionado ao tubo com o sobrenadante obtido a partir da primeira extração. Ao final, foi realizada centrifugação das amostras (20000 g, 5 min a 4 ° C), visando à remoção de restos de tecido em suspensão. Seguindo-se a metodologia descrita por FORCAT et al., (2008); MÜLLER AND MUNNÉ-BOSCH (2011).

A análise foi realizada no sistema cromatográfico Agilent 1200 Infinity Series, acoplado ao espectrômetro de massa Agilent Technologies 6430 Triple Quadrupole (QqQ). O volume injetado no sistema foi de 5 μL e a separação cromatográfica foi realizada com a coluna Zorbax Eclipse Plus C18 (1,8 μm , 2,1 x 50 mm) (Agilent) em série com uma coluna de proteção Zorbax SB-C18 de 1,8 μm (Agilent). A fase móvel consistiu em: (A) ácido acético a 0,02% em água e

(B) ácido acético a 0,02% em acetonitrila em um gradiente de tempo /% B de: 0/5; 11/60; 13/95; 17/95; 19/5; 20/5. A análise foi realizada sob uma vazão de 0,3 mL / min e a uma temperatura de 23 ° C.

Após a separação cromatográfica, a espectrometria de massa de ionização ESI foi realizada nas seguintes condições: taxa de fluxo de nitrogênio de 10 L/min, pressão do nebulizador de 35 psi, voltagem do capilar de 4.000 V. Assim, as massas de íons precursores/fragmentos estabelecidas pelo teste de fragmentação de cada molécula foram monitoradas usando o método de monitoramento de reação múltipla (MRM): ABA (263/153), GA3 (345/142.9), GA4 (331/21), ACC (102,1/56,2), JA (209/59), SA (137/93), AIA (176/130); citocina (zeatina) (220/136), espermidina (146/72.1), espermina (203 / 83.1), putrescina (89 / 72.1) e prolina (116/70) etileno via 1-amino ciclopropano do ácido 1-carboxílico (Müller and Munné-Bosch 2011).

Os fitormônios ABA, AS, GA3, GA4 e JA foram escaneados no modo negativo, enquanto os fitohormônios espermidina, espermina, putrescina, prolina, citocinina, AIA e ACC foram escaneados no modo positivo. Para obter a quantificação absoluta, foi construída uma curva de calibração (0,1 ng a 200 ng), utilizando os respectivos padrões de cada hormônio. Ao final, os dados obtidos foram analisados usando o software “MassHunter Workstation” e a partir disto foi obtida a área de pico de cada hormônio nas amostras. Os resultados foram expressos em ng/g de tecido fresco.

3.8.10. Características físico-químicas de frutos

A análise das características físico-químicas relacionadas à qualidade de frutos foi avaliada em a partir de três a quatro frutos colhidos por planta, no terceiro e quarto racemos, quando estes possuíam mais de 90% da superfície com coloração avermelhada (ALMEIDA, 2017). As análises foram realizadas no Laboratório de Manejo de Recursos Genéticos, do Departamento de Agronomia da Universidade Federal de Viçosa (DFT-UFV).

A cor da superfície dos frutos foi avaliada em dois pontos, no sistema CIE-Lab e com o auxílio de um medidor de cor (Konica Minolta, Japão), e descrita com base nos parâmetros L, luminosidade; a, contribuição do vermelho; e b, contribuição do amarelo. Da mesma forma, com esses valores a* e b* foram calculadas a saturação (C) e a tonalidade (H), ou ângulo Hue, com base nas equações 8 e 9 (ITLE; KABELKA, 2009).

$$\text{Saturação (C)} = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (10)$$

$$H = \tan^{-1} (b/a) \quad (11)$$

em que:

C corresponde à saturação ou croma da polpa;

A corresponde à contribuição do vermelho;

b corresponde à contribuição do amarelo; e

H corresponde à tonalidade ou hue.

O teor de sólidos solúveis da polpa de frutos foi determinado por um refratômetro digital, modelo (instrumento HANNA) e o pH, a partir da análise de polpa de frutos, com o auxílio de um medidor de pH digital DM-22 (Digimed).

As estimativas dos carotenóides totais da polpa dos frutos foram obtidas com base nas equações proposta por ITLE; KALBERA (2009), descritas abaixo:

$$CTa = 6,1226 + 1,7106 a \quad (12)$$

em que:

CTa corresponde ao teor total de carotenoides totais; e

a corresponde à contribuição do vermelho.

A firmeza foi medida com um penetrômetro (Instrutherm DD-200) em dois pontos da região equatorial dos frutos e expressa em Newton.

3.8.11. Análise estatística

Os dados foram analisados por meio de análise de regressão e os modelos foram escolhidos com base na significância dos coeficientes de regressão, no coeficiente de determinação e no comportamento do fenômeno em estudo. O teste “t” foi realizado em nível de de 0,1% a 5% de probabilidade, usando-se o software estatístico R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2014).

4. RESULTADO E DISCUSSÃO

4.1. Aspectos produtivos

A produtividade total (PT) no intervalo de irrigação semanal durante o primeiro ensaio experimental (2017) foi maior, alcançando um pico de 149,80 t ha⁻¹, conforme mostrado na Figura 3. A tabela3 mostra que não houve efeito significativo da época na produtividade

mostrando a evidência de que a produtividade obtido em 2017 e 2018 permaneceram independentes. Logo, intervalo de irrigação diária resultou em produtividade menor de 113,20 t ha⁻¹ em comparação aos demais tratamentos (figura5).

Tabela 3:Resumo da análise de variância das características fotossíntese (An), condutância estomática (gs); e a produtividade (Prod).

Quadro Médio				
FV	GL	An ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Gs ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Prod(t ha^{-1})
Bloco	4,00	15,7989	0,00924	1085,4626
Interv.irrigação(INT)	4,00	43,5453**	0,00657 ^{ns}	5467,8831**
Época(EP)	1,00	232,4168**	0,6658**	923,3089 ^{ns}
EP*INT	4,00	23,8219*	0,0045 ^{ns}	819,8072 ^{ns}
Erro	36,00	6,0208	0,0026	785,4515
CV(%)		9,99	18,52	20,86
Média Geral		24,56	0,27	134,32

FV: Fonte de variação; GL: grau de liberdade; ns Não significativo, *Significativo a 0,05 e ** significativo a 0,01 de probabilidade, pelo teste de F.

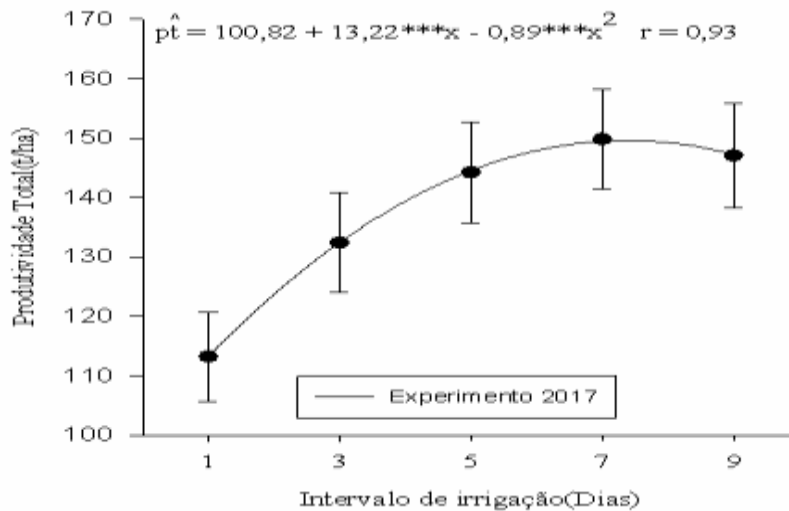


Figura 5: produtividade total (t/ha) em 2017.

***Significativo a 0,1% de probabilidade pelo teste “t”. Intervalo de confiança de 95% (IC 95%).

Entretanto, no segundo experimento (2018), o tratamento com irrigação de nove dias mostrou-se maior, com de 157,95 t ha⁻¹.O tratamento diário permaneceu no valor de 113,18 t ha⁻¹ (Figura 6);113,76 t ha⁻¹ para a irrigação de três dias;125,22 t ha⁻¹ para irrigação de cinco dias e 146,32 t ha⁻¹para irrigação semanal. Esses valores indicam que o maior intervalo de irrigação de sete e nove dias proporciona produtividades mais elevadas.

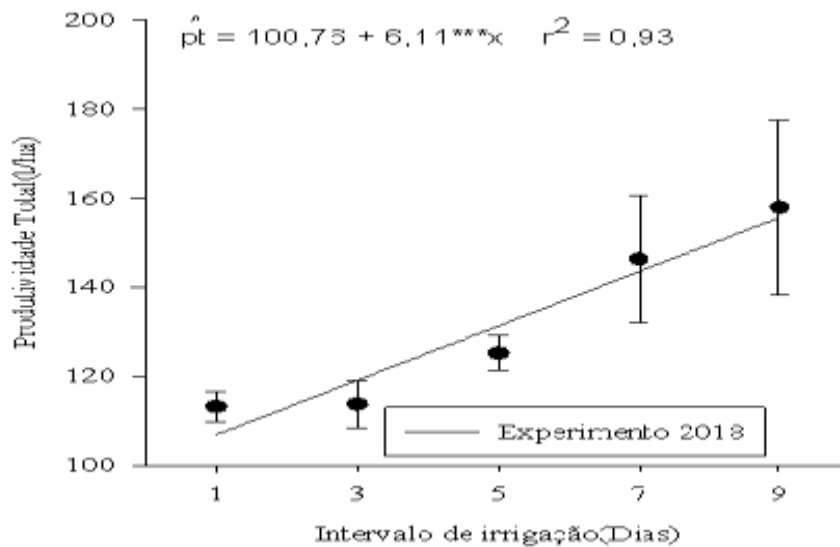


Figura 6 :Produtividade total de frutos em 2018 em função dos intervalos de irrigação.

***Significativo a 0,1% de probabilidade pelo teste “t”. Intervalo de confiança de 95% (IC 95%).

A menor produtividade encontrada no Tratamento II, em comparação com a dos Tratamentos I4 e I5, em que o intervalo de irrigação foi maior, pode ser explicada pelo fato de da frequência de pragas e doenças observado ao decorrer do experimento.

Tal fato se explica pelo fato de ter havido redução da área foliar específica, com pouca absorção da radiação solar, o que se traduziu em baixa taxa fotossintética. No geral, o parâmetro meteorológico mais propício a ataques de pragas e doenças em plantas é a umidade. Alta umidade produz condições favoráveis ao desenvolvimento da doença não só com infecção da planta, mas também com esporulação do patógeno e subsequente dispersão de esporos (TURKINGTON et al., 2014).

Da mesma forma, em termos de massa dos frutos por planta, a frequência dos tomates médios e grandes foi observada quando o intervalo de irrigação for maior a partir de 5,7 e 9 dias (Figura 7). Os maiores valores de massa de frutos grandes e médios ocorreram nos intervalos de irrigação de sete e nove dias e os menores, no intervalo de irrigação diária. Os maiores valores de massa dos frutos médios e massa dos frutos grandes foram de 1.186 (g) e 4.749 (g) no intervalo de irrigação semanal, em 2017.

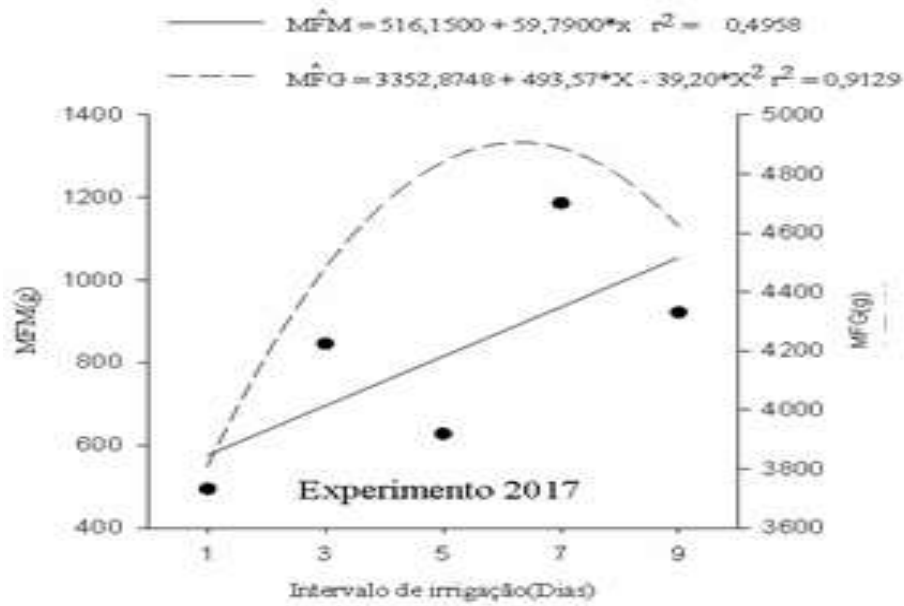


Figura 7: Massa de frutos médios (MFM) e massa de frutos grandes (MFG) em (g), em 2017

***Significativo a 0,1%. *Significativo a 5% de probabilidade pelo teste “t”.

Essa produtividade maior de frutos médios e grandes ocorreu na irrigação de cinco dias em 2018, quando os valores variaram entre 1.314,94 (g) MFM e 4.932,52 (g) MFG. Entretanto, a produtividade de frutos médios e grandes foi baixa no intervalo de irrigação diária, com valores médios de 846 (g) MFM e 4.362 (g) MFG em 2017; e 236,29 (g) MFM e 4.215,95 (g) MFG em 2018, como pode ser visualizado na Figura 8.

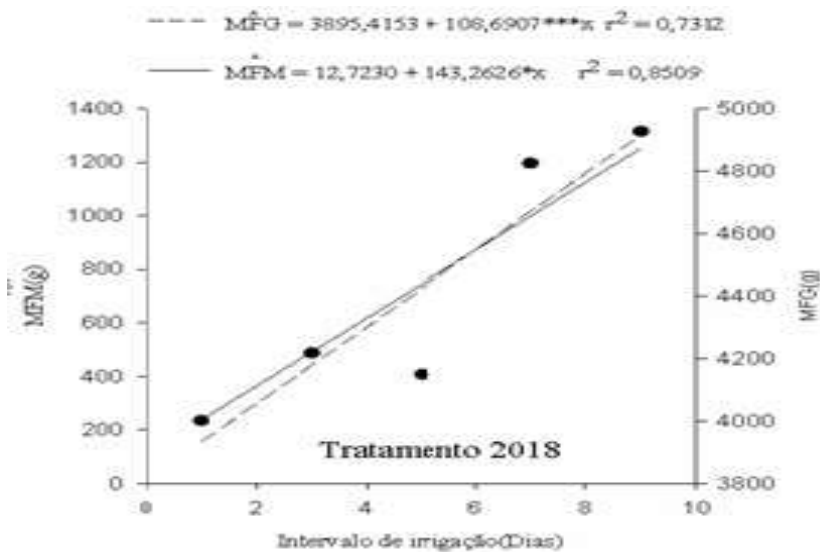


Figura 8: Massa de frutos médios (MFM) e massa de frutos grandes (MFG) em (g), em 2018

***Significativo a 0,1%. *Significativo a 5% de probabilidade pelo teste “t”.

4.2. Temperatura Foliar (TF) e Conteúdo Relativo de Água (CRA)

Com relação à temperatura foliar, não houve diferença entre os tratamentos, ou seja, a temperatura foliar medida durante o dia, no período das 10 horas às 15 horas, não mostrou diferença significativa (Figura9). A menor média da temperatura foi observada às 10 horas (25,03 °C) e as maiores, às 15 horas (29 °C). No entanto, a temperatura foliar apresentou tendência a ser menor do que a do ar em 2018. De acordo com RIGHI (2012), a temperatura foliar encontra-se baixa, em comparação com a do ar em camadas superiores ou inferiores do tomateiro. As lâminas de água reposicionadas pelos diferentes intervalos de irrigação não influenciaram a temperatura foliar dos tratamentos. Isso se explica provavelmente pela capacidade das plantas em se aclimatarem às condições hídricas impostas pelos tratamentos sem, contudo, reduzir o desempenho. Os resultados deste parâmetro encontram-se satisfatórios, porque a temperatura foliar alta ou baixa poderia comprometer a eficiência da maquinaria fotossintética, por meio de danos às proteínas envolvidas no processo fotossintético, o que diminuiria, portanto, a eficiência fotossintética e o uso da água, como observado por ANTÔNIO (2013).

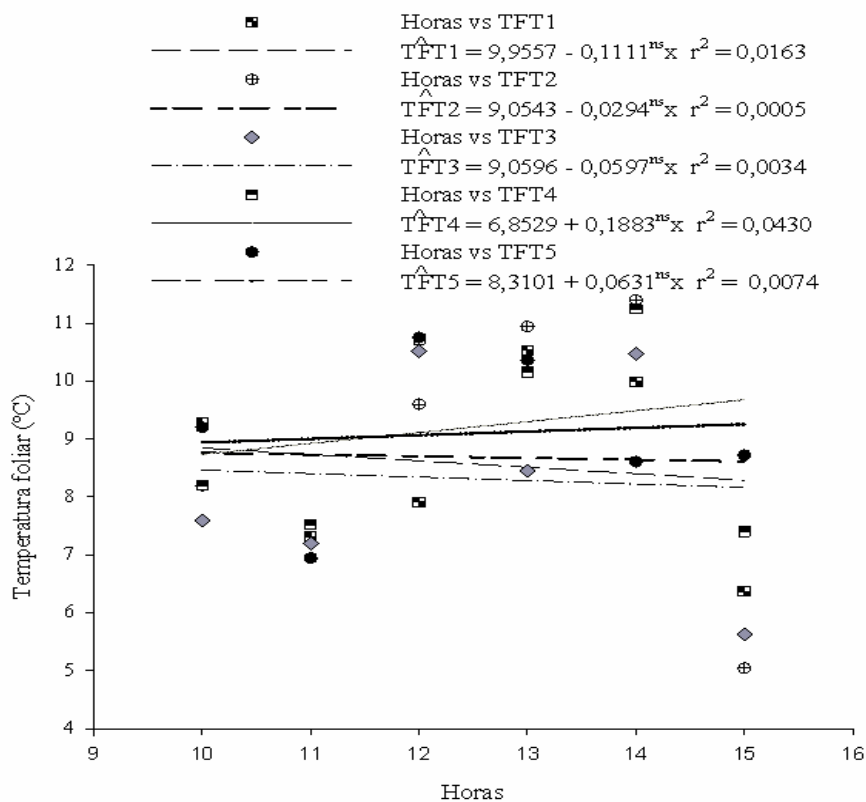


Figura 9: Temperatura foliar em função dos horários de dia em 2018.

^{ns} não significativo a 5% de probabilidade pelo teste “t”.

Em relação ao Conteúdo Relativo de Água (CRA), as folhas retiradas no dia anterior à irrigação (maior demanda hídrica) em cada tratamento não mostraram diferença estatística entre tratamentos (Figura 10). A redução da umidade do solo não ocasionou perda no turgor das células foliares. Plantas mais vigorosas em condições de redução da umidade do solo teoricamente apresentam mecanismos fisiológicos que permitem seu desenvolvimento nessas condições (MORALES, 2012). Constatou-se que as plantas com maior intervalo de irrigação 7 e 9 dias conseguiram manter o conteúdo relativo de água relativamente igual, em comparação com as dos demais tratamentos. Isso pode ser explicado pelo fato de que as plantas desenvolveram respostas aclimatativas ao microclima em cada intervalo de irrigação. Essas respostas dos tomateiros em manter o mesmo CRA em diferentes intervalos de irrigação, sem a redução do potencial de água da folha, podem ser um indicativo de que essas plantas possuem mecanismos de tolerância ao estresse hídrico. Tais mecanismos poderiam ser a regulação de aberturas estomáticas, a regulação do balanço hídrico, a redução da área foliar ou o alongamento do sistema radicular. Assim, as plantas conseguem manter o mesmo padrão do desempenho metabólico e fisiológico sem, portanto, atrapalhar o turgor das células nas folhas. O Conteúdo Relativo de Água (CRA) está bem correlacionado com os fatores fisiológicos das plantas, por apresentar forte relação com volume celular, relevante no metabolismo de plantas com déficit hídrico (CALBO, 2010).

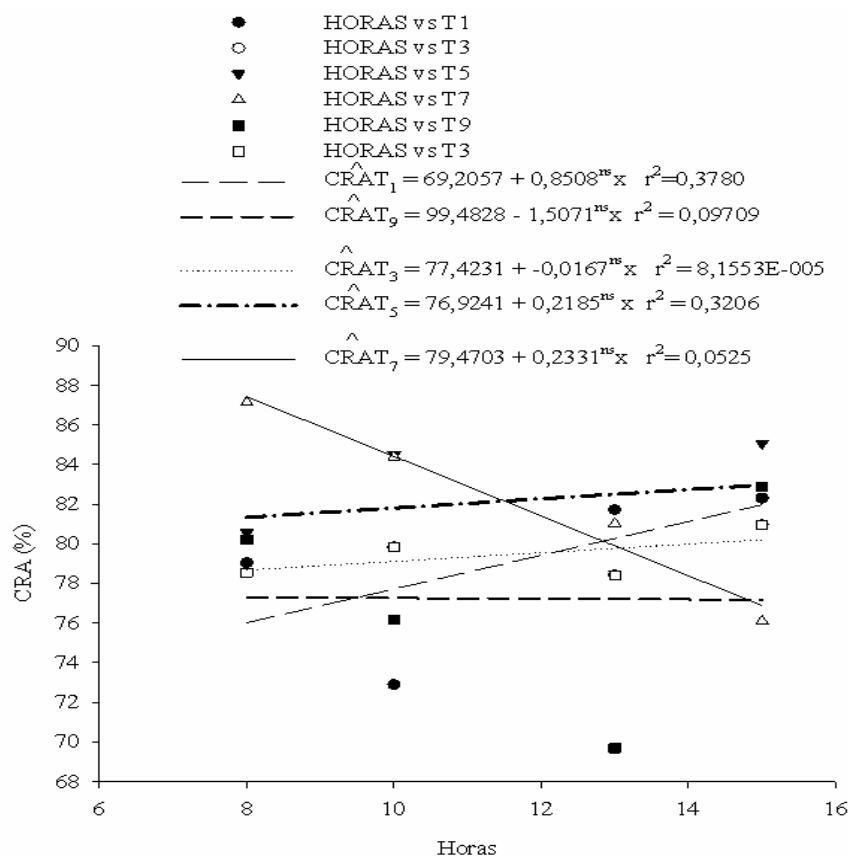


Figura 10: Conteúdo relativo de água em função dos horários expresso em (%) de água em 2018. ^{ns} não significativo a 5% de probabilidade pelo teste “t”.

4.3. Eficiência no uso da água (EUA)

A Eficiência de Uso da Água (EUA) nos tratamentos com maiores intervalos de irrigação possibilitou maior produtividade de frutos comerciáveis (PC), conforme mostrado na (Figura 11ab).

Os resultados indicam que a em 2017, a EUA foi menor no intervalo de irrigação diário ($1,3 \text{ Kg m}^{-3}$), e maior nos intervalos de irrigação de sete e nove dias ($1,8 \text{ Kg m}^{-3}$). Já em 2018, observou-se menores valores da EUA no intervalo de irrigação diário ($EUA=1,71 \text{ Kg m}^{-3}$), e maiores valores de EUA no intervalo de irrigação de nove dias ($EUA=2,52 \text{ Kg m}^{-3}$).

É importante ressaltar que tomateiro precisa de 50 litros de água para produzir 250g de tomate, pois na irrigação de nove dias em 2018, $156,44 \text{ t ha}^{-1}$ gastou $3103,1 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ em 2018 com EUA de $2,52 \text{ Kg m}^{-3}$ mostrando a evidência de que o uso de água em nosso experimento foi realmente eficiente. Em contraste, as irrigações de plantas em menores intervalos foram menos eficientes no uso da água. Isto é $111,42 \text{ t ha}^{-1}$ por um volume de $3241 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de água com EUA de $1,71 \text{ Kg m}^{-3}$ no mesmo ano (Figura 11).

O uso da água se torna mais eficiente quando as irrigações são espaçadas, pois os tomateiros desenvolveram raízes superficiais em um solo úmido em camadas superiores sempre irrigadas. Da mesma forma, o número de flores por planta, a quantidade de frutos por planta, a produção e a eficiência no uso da água são maiores com as plantas sob reposição entre 100% e 133% do consumo de água da cultura (SILVA et al., 2013). Resultados semelhantes foram encontrados por ZHANG (2017), que conclui que a maior eficiência no uso da água (EUA) ocorreu com reposição hídrica de 60% a 80% ETC. Embora TREJO (2011) tenha encontrado eficiência de 61% no uso da água para Dia após o Transplante (DAT) e 65% e 100% EUA para DAT 86, as plantas deste último foram mais eficientes no uso da água, porque desenvolveram um sistema radicular profundo, permitindo a busca suficiente de água no perfil do solo, exatamente como fizeram as plantas dos maiores intervalos de irrigação.

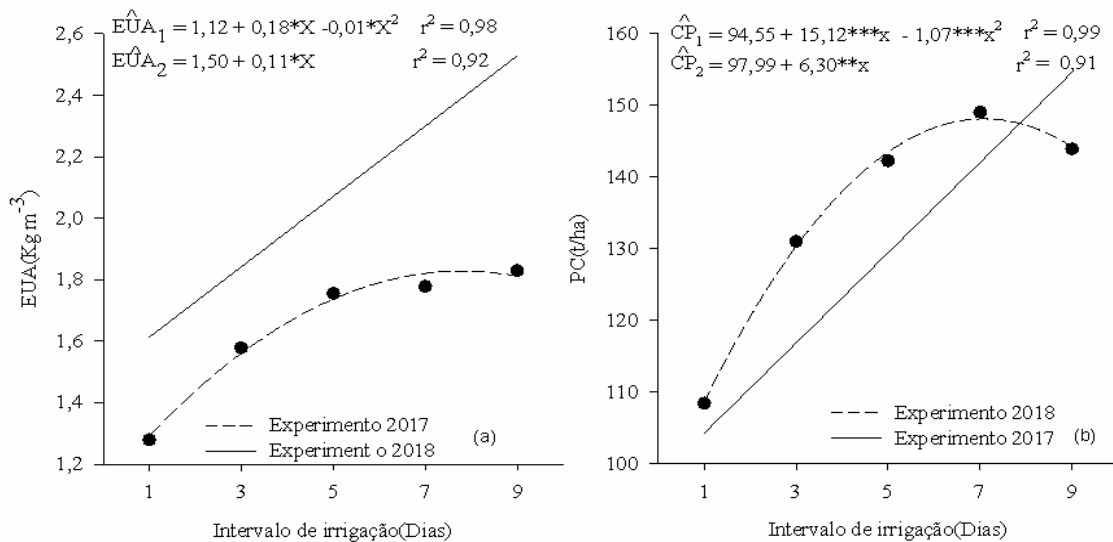


Figura 11:(a) Eficiência de uso de água e (b) Produtividade comercial em 2017 e 2018

*, ** e *** significativos a 0,1%, 1% e 5% de probabilidade pelo teste “t”, respectivamente.

4.4. Fotossíntese líquida (An) e condutância estomática (gs)

A atividade fotossintética variou entre tratamentos, houve diferença significativa na taxa fotossintética durante as duas épocas de cultivo e a fotossíntese apresentou crescimento linear à medida que o intervalo de irrigação foi mais distante (figura 12 e 13).

Em 2017, os menores valores observados no intervalo de irrigação diária podem ser explicados pelo fato de que as plantas não conseguiram aumentar a taxa de absorção do carbono nesse regime. Isso porque, segundo HAN et al. (2018), sob a condição de irrigação total a taxa

fotossintética das culturas não pode aumentar mais, mas a taxa de transpiração sustentável pode aumentar.

A tabela 4 mostra que não houve efeito da época de cultivo dentro dos tratamentos em 2017. Isto é não teve interação entre a época de cultivo e os intervalos de irrigação que possibilitou então obtenção de maior valores $27,2(\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1})$ no intervalo de irrigação de nove dias em 2017. Pois a menor taxa fotossintética obtido no irrigação diária em 2017 foi $25,4(\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1})$.

Tabela 4: Valores médio da fotossíntese (A_n) em cinco intervalos de irrigação e em duas épocas de cultivo .

Interv. Irrigação(Dias)	Época (2017)	Época (2018)
1	25,4aA	18,26dB
3	26,6aA	21,66cB
5	27,1aA	20,49cB
7	27,3aA	23,89bB
9	27,2aA	27,69 cA

*Médias seguidas com a mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5%. Viçosa, MG, 2019.

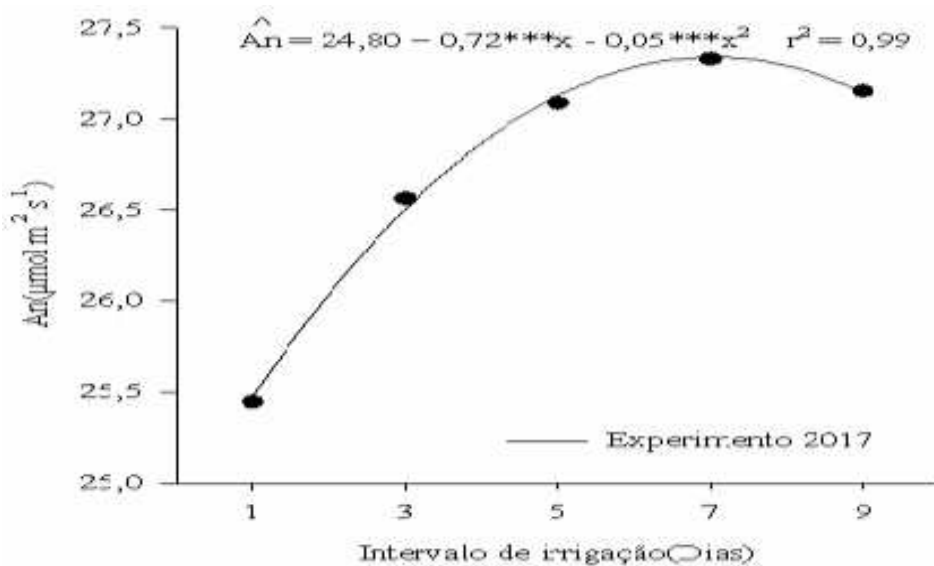


Figura 12: Fotossíntese líquida em 2017 em função dos intervalos de irrigação

*** significativo a 0,1% de probabilidade pelo teste "t".

Já em 2018 a taxa fotossintética no intervalo de irrigação diária foi ($18,26 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (Figura 13). Pois o maior valor se encontrou nos maiores intervalos de irrigação ($27,69 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Nesse ano teve efeito significativo da interação entre época do e os intervalos de irrigação (tabela4). Esse resultado mostra a evidência do que os intervalos de irrigação melhoram o comportamento fotossintético das plantas em campo aberto.

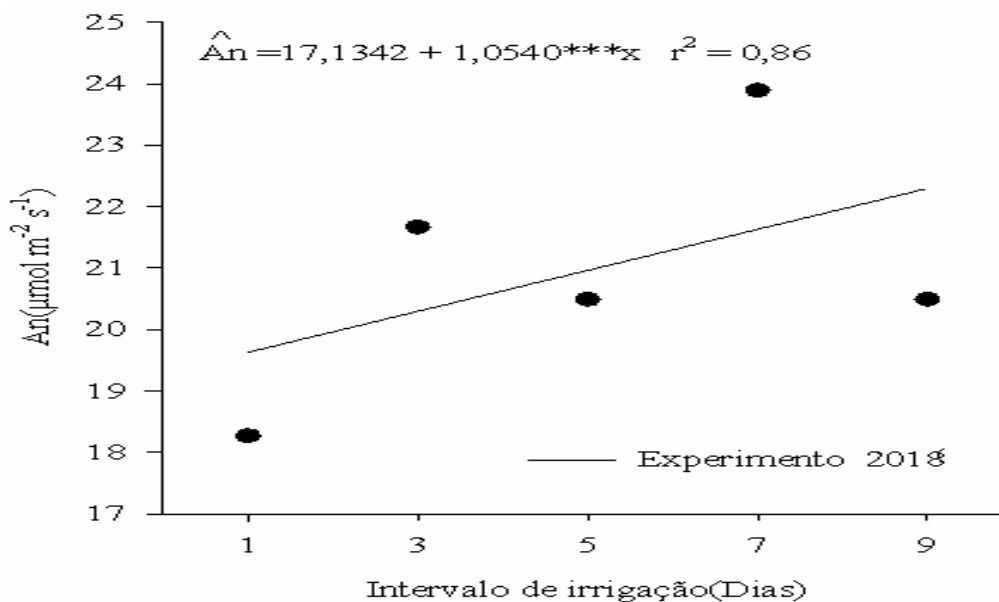


Figura 13: Fotossíntese líquida em 2018, em função dos intervalos de irrigação

*** significativo a 0,1% de probabilidade pelo teste “t”.

No entanto, em 2017 a condutância estomática (g_s) foi maior nos menores intervalos de irrigação e alta no intervalo de irrigação de nove dias (Figura 14). O comportamento da abertura estomática explica a taxa de perda de água pelas plantas, isto é, as perdas de água pela transpiração nos intervalos de irrigação de sete dias e nove dias foram menores, o que levou ao comportamento decrescente do g_s à medida que o intervalo de irrigação aumentou (Figura 14). O espaçamento do intervalo de irrigação diário até nove dias reduziu a abertura estomática apenas por 25%.

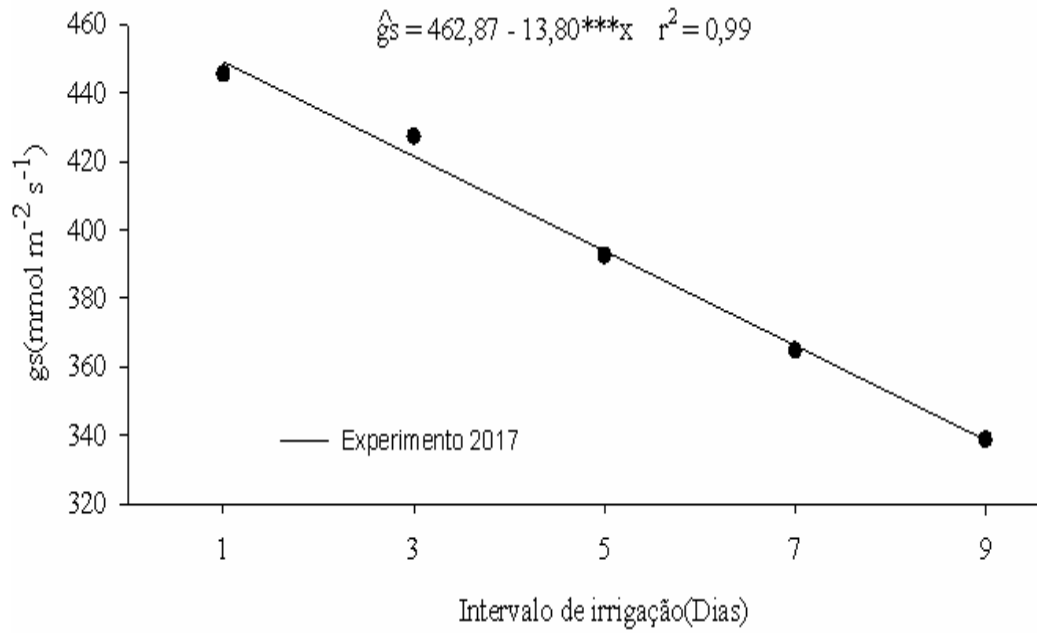


Figura 14: Condução estomática (gs) em função dos intervalos de irrigação

*** significativo a 0,1% de probabilidade pelo teste “t”.

Já em 2018 a mesma tendência do comportamento dos estômatos das plantas repetiu-se durante o segundo experimento pois não teve diferença estatística entre tratamentos (Figura 15).

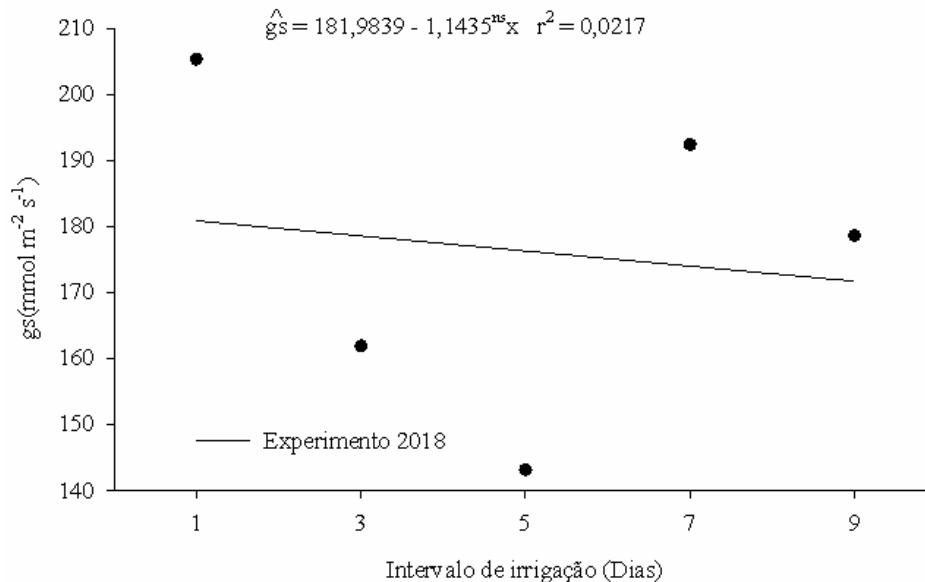


Figura 15: Condução estomática (gs) do experimento de 2018 em função dos intervalos de irrigação.

*** significativo a 0,1% de probabilidade pelo teste “t”.

Embora fatores ambientais como as altas temperaturas do ar de 20 °C (2017) e 18 °C (2018) e os déficits de pressão de vapor de 0,97 (2017) e 0,70 (2018) tenham feito que não houvesse diferença significativa do g_s entre os tratamentos em 2018, segundo ALVARENGA (2013) a temperatura ideal para a cultura do tomateiro é superior a 10 °C e inferior a 35 °C. Observou-se redução do déficit de pressão do vapor (DVP) de 27% em 2018.

A manutenção de menor DPV ao meio-dia aumenta o índice estomático foliar de tomateiro e a condutância estomática durante a maior parte do dia, o que aumenta a taxa fotossintética líquida (LU et al., 2015).

Os valores do DPV foram, em média, de 0,45 Kpa (2017) e 0,39 Kpa (2018), considerados como valores normais, porque um aumento mesmo de 1,0 a 1,8 kPa provoca grandes reduções no crescimento das plantas de várias culturas (MAAS,E.;HOFFMAN, G.1979), o que pode ser devido à diminuição da fotossíntese (ZHANG et al., 2017).

Segundo FERRAZ et al. (2012), as variações na transpiração das horas mais quentes do dia são reflexos da alta demanda evaporativa da atmosfera. Portanto, essa redução do g_s nos Tratamentos I1 a I5 não indica que a fotossíntese não estaria sendo restringida, ou seja, reduzida, mas evidencia atividades de fatores bioquímicos que estariam dificultando a redução do CO_2 ali existente (MARUR, C. J.; FARIA, 2006). O valor de g_s 338,79 ($mmol\ m^{-2}\ s^{-1}$) encontrado nos tratamentos de maiores intervalos de irrigação ainda é ótimo para a realização adequada da fotossíntese. E isso explica que, mesmo nesse regime de irrigação, os estômatos não estão fechados, simplesmente reduziram-se em resposta aos distúrbios hídricos no solo. De acordo com FAROOQ (2009), em condições de alta transpiração e de regime hídrico reduzido, espera-se diminuição na condição estomática.

4.5. Eficiência intrínseca de uso da água ($An\ g_s^{-1}$) e eficiência de carboxilação da Rubisco (CEi)

Com relação às trocas gasosas, verificaram-se diferenças significativas ($p\ 0,01$) na eficiência intrínseca de uso da água ($An\ g_s^{-1}$), conforme mostrado na Figura 16a. A relação de perda de água em relação à absorção de CO_2 durante a fotossíntese é diretamente relacionada à concentração interna de CO_2 na folha (C_i). Isso porque, em condições-padrão de pressão de vapor e de concentração externa de CO_2 (C_a), um C_i baixo corresponde a um alto $An\ g_s^{-1}$ instantâneo devido ao fato de a condutância estomática (g_s) ser baixa em relação à taxa de transporte de elétrons e à taxa de fixação de CO_2 (BRODRIBB, 2009).

Detectou-se diferença significativa entre os tratamentos na variável eficiência de carboxilação da Rubisco (CEi) ($p < 0,01$). A atividade da Rubisco foi maior nos maiores

intervalos de irrigação (Tratamentos I4 e I5), ou seja, não houve queda na absorção de carbono externo (Figura 10b). Menores valores observados no Tratamento I1 podem ser explicados pelo fato de que o CO₂ encontrou limitação difusiva, ou seja, bioquímica, por conta desse regime de irrigação diária. Nesse tratamento, a frequência de doenças e pragas causou perdas importantes de folhas e, conseqüentemente, de área foliar. TAIZ E ZEIGER (2013) e BARBIERI et al. (2010) concluíram que as trocas gasosas são influenciadas pelas condições climáticas. Segundo GONÇALVES et al. (2008), a maior capacidade fotossintética está frequentemente relacionada à maior espessura da folha e às células da paliçada, que são reforçadas pela irradiância ambiente. Além disso, maior frequência estomática poderia facilitar a captação de CO₂ e, assim, manter alta atividade fotossintética. Isso porque a concentração interna do CO₂ (C_i) regula a taxa de transpiração e aumenta a atividade da Rubisco em plantas de menor frequência de irrigação (MARUR, C. J.; FARIA, 2006), embora decréscimos significantes em C_i possam acarretar queda em A_n devido à redução da concentração de CO₂ para a atividade da ribulose-1,5-bifosfato carboxilase-oxigenase (Rubisco). Entretanto, menores valores de C_i também estimulam a abertura dos estômatos, permitindo maior influxo de CO₂ para a cavidade subestomática (FERRAZ et al., 2012), o que tende a um equilíbrio entre consumo e entrada de CO₂ e mantém um C_i aproximadamente constante.

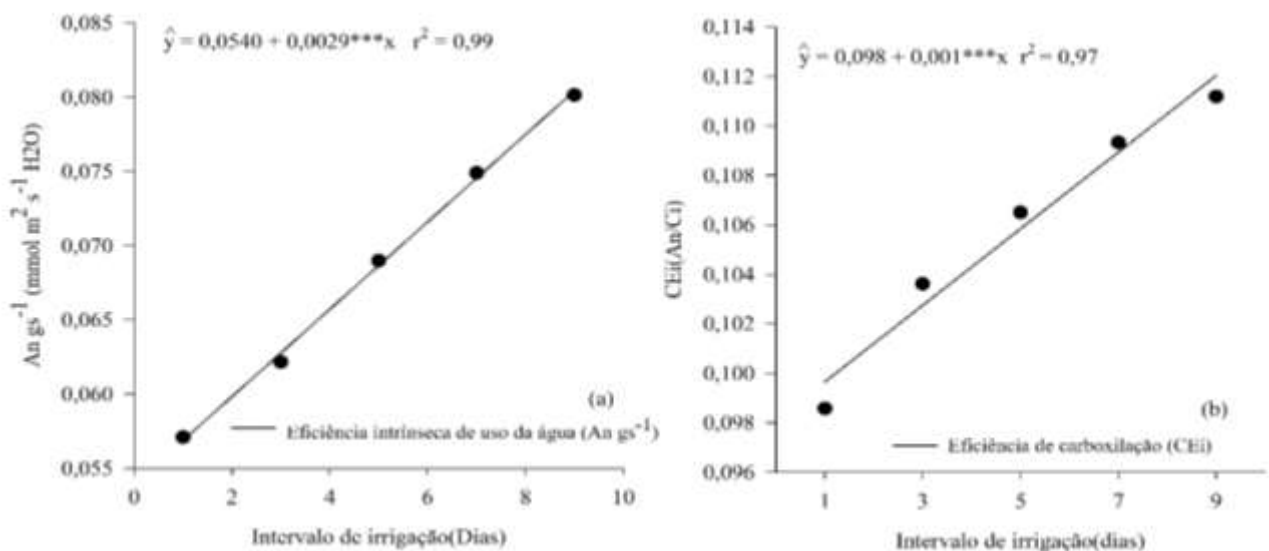


Figura 16:- (a) Eficiência intrínseca de uso da água (An gs⁻¹) e (b) Eficiência de carboxilação (CEi)

*** significativo a 0,1% de probabilidade pelo teste “t”.

É importante ressaltar que a entrada de CO₂ no interior das folhas encontra várias limitações (camada limítrofe, membrana celular, resistência da mesófila e resistência estomática). Já a água tende a se difundir para fora da folha através dos mecanismos de abertura e fechamento estomático.

4.6. Sistema radicular

Constatou-se que as raízes se adaptam à medida que o intervalo de irrigação aumenta por mudarem as suas plasticidades (Figura 17). O tratamento de maior intervalo de irrigação proporcionou maior desenvolvimento do sistema radicular, permitindo, especialmente, maior ramificação de raízes secundárias e aprofundamento das raízes principais.

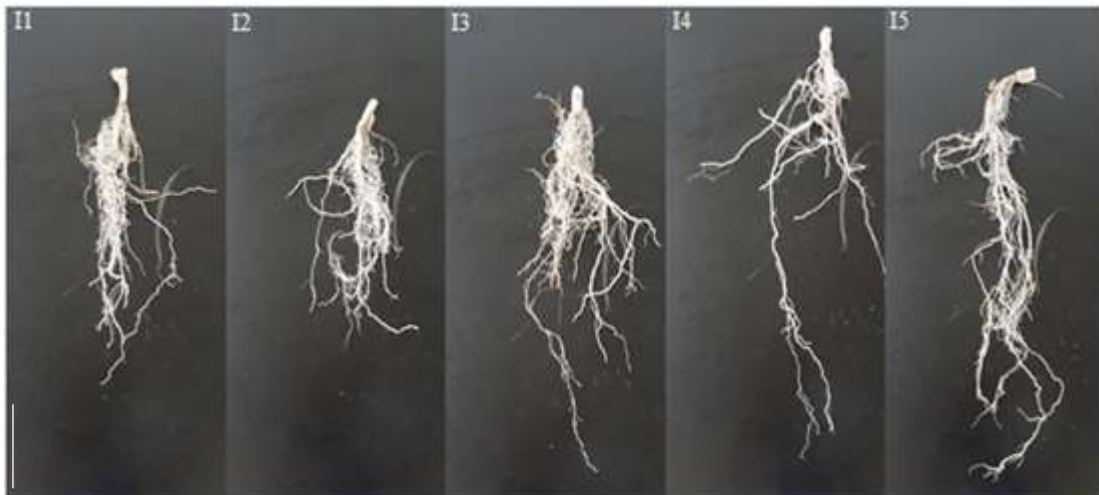


Figura 17: Imagem digital do sistema radicular de tomateiro nos diferentes tratamentos. Trat. I1: intervalo de irrigação diária; Trat. I2: intervalo de irrigação de três dias; Trat. I3: intervalo de irrigação de cinco dias; Trat. I4: intervalo de irrigação de sete

Para os tratamentos de menor intervalo de irrigação, o sistema radicular estava concentrado na camada de 0 a 0,20 m, com abundância de raízes laterais finas em superfície de camadas superiores. Houve diferença estatística no comprimento de raízes entre todos os tratamentos $r^2 = 0,72$, com nível de significância de 1% pelo teste t (Figura 18).

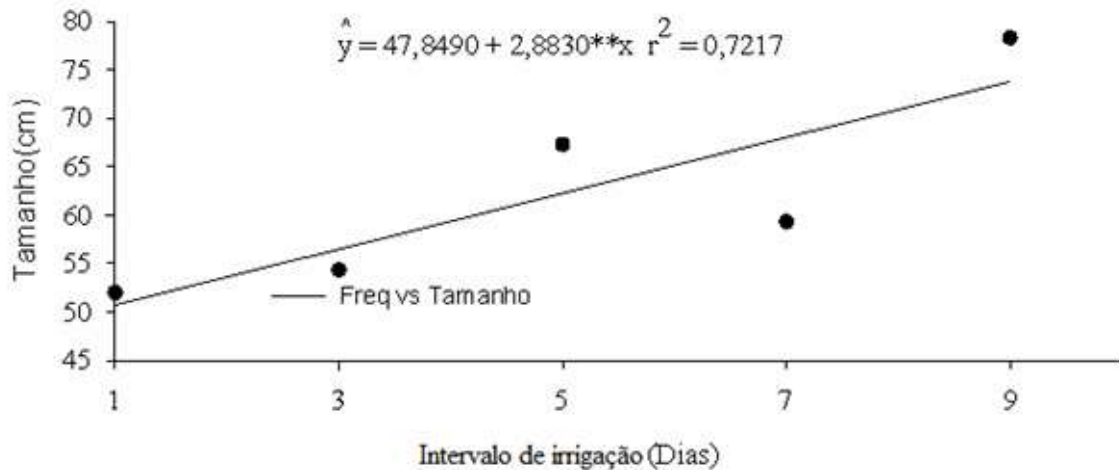


Figura 18:- Comprimento radicular em função dos intervalos de irrigação

** significativo a 1% de probabilidade pelo teste “t”.

Com isso, observou-se que os intervalos de irrigação tiveram efeito significativo no sistema radicular do tomateiro e induziram o aprofundamento de raízes nas irrigações de sete e nove dias em busca de água e nutrientes. Então, o preparo e manejo do solo pela aplicação de calcário e gesso antes do transplante possibilitaram o carreamento de nutrientes, principalmente cálcio e magnésio, em camadas profundas, o que ajudou as plantas de maior intervalo de irrigação a aumentar a densidade radicular até 80 cm de profundidade. Por certo, variabilidades extremas de temperatura, como dias com maior estresse de calor, são eventos adversos dominantes e indesejáveis para a produção de tomate e pepino, porque têm efeito de aumentar a demanda de água do solo e taxas transpiratórias das plantas (POTOPOVÁ et al., 2017). Associado a isso, absorção de água e nutrientes pelas plantas depende de vários fatores, principalmente do volume de solo explorado pelas raízes. Adicionalmente, determinados fatores e, ou, processos no solo podem limitar o crescimento das raízes (ALBUQUERQUE & REINERT, 2001). O estresse hídrico induz a plasticidade de raízes, o que permite a planta minimizar os riscos de danos. Com isso, percebe-se que o sistema radicular é muito importante para estabelecer um sistema de crescimento que permita alto rendimento e estabilidade na produtividade (NAKANO, 2007).

4.7. Área foliar (AF) e índice da área foliar (IAF)

Não houve diferença entre os tratamentos para a área foliar (AF), (Tabela 5). O menor valor da área foliar (AF) 0.77(m²) foi observado para a irrigação diária e conseqüentemente o menor índice de área foliar (IAF) foi 1.95 (m² m⁻²). O maior valor foi observado no tratamento

I5; $0.94(m^2)$ e o índice de área foliar nesse tratamento foi de 2.37 (Figura 19, a e b). Provavelmente, o crescimento das plantas em I1 não foi linear, contribuindo para uma menor estimativa de AF neste tratamento. Segundo MAROUELLI & SILVA (2006) e (WANG X, 2019), a irrigação diária faz com que o sistema radicular permaneça superficial, limitando a absorção adequada de nutrientes e água pelas plantas de tomate durante na fase vegetativa. Conforme estes autores, também é comum observar maior frequência de pragas e doenças em culturas sob menores intervalos de irrigação.

Corroborando com a informação acima, HARMANTO et al., (2005), observou que a elevada umidade na superfície do solo pode levar à redução da área foliar, além de reduzir a produtividade e a qualidade de frutos em tomate. Na fase vegetativa, as plantas gastam grande parte da energia para se fixarem no solo, visto que as raízes constituem o dreno preferencial dos fotoassimilados (FAYAD et al., 2002). De acordo com este autor, a produção fotossintética aumenta com o incremento do índice de área foliar e pode ser prejudicado caso haja problema de interceptação de luz.

No presente estudo, observa-se que a irrigação diária não favoreceu o incremento do índice de área foliar (Figura 19b). Conforme MONTEIRO et al., (2005), a AF e, conseqüentemente, o IAF são parâmetros importantes na determinação do modelo de crescimento e desenvolvimento das plantas e os resultados obtidos neste estudo mostram que mesmo os maiores intervalos de irrigação não tiveram efeito significativo na AF e no IAF como mostrado na tabela 5.

Tabela 5: Resumo da análise de variância das características fisiológicas, produtividade e aspectos físico-químicos de frutos

Características fisiológicas					
Características	Graus de liberdade	Quadrado médio	Amplitude	Média	Coefficiente de variação
AF(m ²)	4	0.02 ^{ns}	0.77-0.94	0.86	11.67
IAF(m ² m ⁻²)	4	0.14 ^{ns}	1.95-2.13	2.17	11.58
Δ13C(‰)	4	0.56 ^{ns}	25.01-26.15	25.72	3.30
ABA(ng g ⁻¹)	4	113.78***	2.11-13.81	7.79	49.70
Zeatina(ng g ⁻¹)	4	73.98*	43.73-66.57	51.59	46.94
Prolina(mg g ⁻¹)	4	0.95 ^{ns}	0.18-1.46	0.59	133.01
Produtividade de frutos					
Característica	Graus de liberdade	Quadrado médio	Amplitude	Média	Coefficiente de variação
PTF(t ha ⁻¹)	4	1015.44*	113.18-157.95	153.87	15.45
Aspectos físico-químicos e qualidade de frutos					
Características	Graus de liberdade	Quadrado médio	Amplitude	Média	Coefficiente de variação
CTF(μg g ⁻¹)	4	30.12 ^{ns}	59.32-63.41	60.93	19.64
SS(°Brix)	4	26.39 ^{ns}	4.01-7.97	5.4	51.05
pH	4	0.007 ^{ns}	2.34-2.40	4.30	87.10
AT(%)	4	0.002 ^{ns}	0.40-0.43	0.42	24.45
FF(N)	4	18.33 ^{ns}	11.07-14.30	13.07	30.47

AF: área foliar, IAF: índice de área foliar, Δ13C: discriminação de carbono, ABA: ácido abscísico, PFT: produtividade total de frutos, CTF: carotenoides totais de frutos, SS: sólidos solúveis, pH: potencial de hidrogênio de frutos, AT: acidez titulável, e FF: firmeza de frutos.

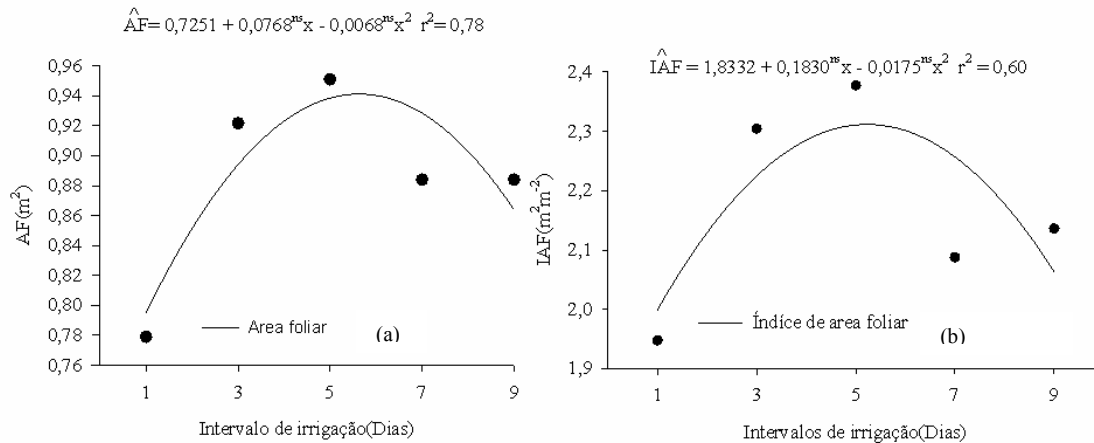


Figura 19: Área foliar (a) e índice de área foliar (b) em função dos intervalos de irrigação.

^{ns}Não significativo. Intervalo de confiança 95% (IC 95).

4.8. Discriminação dos isótopos de carbono $\Delta^{13}\text{C}$

Não foi observado diferença significativa quanto à discriminação isotópica do carbono (Figura 20). Nos dois experimentos, as plantas discriminaram o carbono da mesma forma sob os diferentes intervalos de irrigação, usando mais o ^{12}C conforme mostrado na (Tabela 5). A média geral para a discriminação de carbono foi 25.72 ‰. A discriminação de carbono está intimamente ligada com o processo fotossintético e conseqüentemente com a produtividade. Assim, entende-se que quanto maior for absorção de ^{12}C maior será a eficiência de uso de água e produção de biomassa (CONDON & al., 2004). O experimento conduzido em campo aberto com manejo de solo com gesso e calcário propicia enraizamento profundo e assim melhora a absorção de nutrientes e água para plantas em todos os tratamentos (WANG 2019). Os intervalos de irrigação não afetaram desse modo a maquinaria do processo fotossintético das plantas. As plantas não estavam estressadas e por isso tiveram a mesma forma de discriminação de carbono com maior eficiência de fotossíntese em todos os tratamentos (FARA 2019).

De acordo com O'LEARY, 2015 plantas de tomateiro contêm menos ^{13}C do que a atmosfera porque o processo físico e químico envolvido na absorção de CO_2 discrimina o carbono ^{13}C . Segundo o mesmo autor, esta discriminação ocorre porque ^{13}C é mais pesado do que ^{12}C e forma ligações químicas mais estáveis na constituição da molécula de CO_2 . Além disso, a difusão de $^{13}\text{CO}_2$ é mais lenta que aquela do $^{12}\text{CO}_2$ por causa dessa diferença massa (O'LEARY, 2015). Na mesma linha, FERREIRA (2008) constatou que em plantas C_3 a assimilação do dióxido de carbono feito por elas para realizar a fotossíntese produz o fracionamento isotópico por difusão e por fixação pelo rubisco.

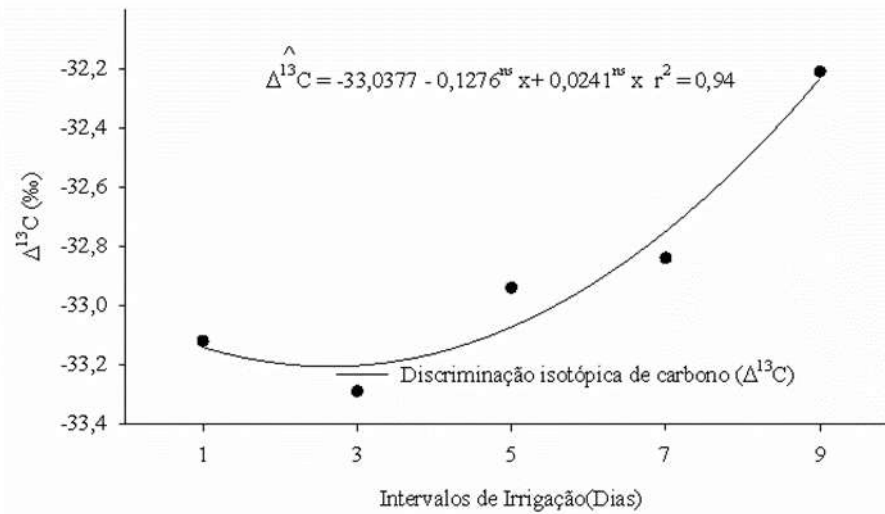


Figura 20: Discriminação de carbono em função dos intervalos de irrigação.

^{ns} Não significativo. Intervalo de confiança 95% (IC 95%).

4.9. Fitormônios e osmorreguladores

Houve diferença significativa apenas para ABA e a Zeatina. Os teores médios de ABA e zeatina considerando os dois experimentos foi 7,79 ng g⁻¹ e 52,43 ng g⁻¹, respectivamente (Figura 21, a e b). Estas estimativas são consideradas baixas, e indicam que as plantas não expressaram estresse severo sob nenhum dos intervalos de irrigação (FARBER et al., 2016). O acúmulo de ABA é uma resposta chave ao déficit hídrico em plantas, atuando aparentemente como o principal sinalizador químico de longa distância da condição de estresse hídrico (JIANG et al., 2008; ZHANG et al., 2019). Os resultados obtidos no presente estudo mostram que os teores de ABA decresceram com o aumento dos intervalos de irrigação, podendo-se assumir, desta forma, que os maiores intervalos de irrigação proporcionaram menor estresse às plantas (Tabela 5). Conforme já mencionado, o aumento dos teores de ABA nos tecidos vegetais está relacionado principalmente à condição hídrica sob as quais as plantas se encontram em determinado momento. Neste estudo, é possível que o manejo físico-químico do solo tenha sido fundamental para a obtenção de menores teores de ABA sob os maiores intervalos de irrigação. Os fitohormônios ABA e Citocinina também têm sido associados à abertura estomática. Conforme FARBER et al., (2016), algumas células guardas são sensíveis à presença do ABA e Citocinina e induzem o fechamento estomático sob maiores concentrações destes hormônios. Corroborando isto, alguns estudos mostram que o ABA e a Citocinina atuam na regulação do movimento estomático e tem papel importante nas regulações hídricas das plantas (CUTLER, 2010; BAUER et al. 2013). As menores estimativas para ABA e Citocinina observadas sob os

maiores intervalos de irrigação sugerem que as plantas nestes tratamentos expressaram abertura efetiva dos estômatos suficiente para ajustes osmóticos. Também deve ser mencionado que a biossíntese e as concentrações de ABA podem variar muito em tecidos específicos durante o desenvolvimento ou em resposta às mudanças nas condições ambientais (BAUER,2013; KHAPTE,2019), uma vez que este hormônio regula numerosos processos de desenvolvimento e respostas adaptativas ao estresse das plantas (CUTLER et al., 2010). É possível que o manejo físico-químico do solo adotado neste estudo tenha influenciado os resultados observados a partir da análise de fitohormônios. Possivelmente o preparo do solo mediante uso de subsolador, visando a redução de possíveis impedimentos físicos, associado à aplicação de calcário e gesso tenha favorecido o desenvolvimento de raízes.

Um primeiro aspecto relacionado ao manejo do solo adotado neste estudo compreendeu a redução de impedimentos físicos do solo mediante a prática de subsolação. Esta prática tem sido consistentemente correlacionada à diminuição da densidade e ao aumento da capacidade de armazenamento de água do solo (KHAPTE et al., 2019; SUN et al., 2018). Associado a isto, a aplicação de gesso reduz a acidez e os teores de elementos tóxicos às plantas como o Al^{3+} , condições frequentes nos solos brasileiros, proporcionando maior desenvolvimento de raízes (SAEED e AHMAD, 2009; DOS SANTOS et al., 2019).

Segundo CARMEIS FILHO et al., (2016), a aplicação de gesso auxilia no carreamento de nutrientes como cálcio e magnésio para camadas mais profundas do solo. Conforme KHAPTE et al., (2019), isto favorece o desenvolvimento do sistema radicular e conseqüentemente a absorção de água e nutrientes. Diante disto, é possível que o manejo físico químico do solo juntamente com os maiores intervalos de irrigação adotado neste estudo tenham proporcionado às plantas maior capacidade para exploração do reservatório de água em maiores profundidades do solo, assegurando menor oscilação no status hídrico das plantas e conseqüentemente menor estresse hídrico.

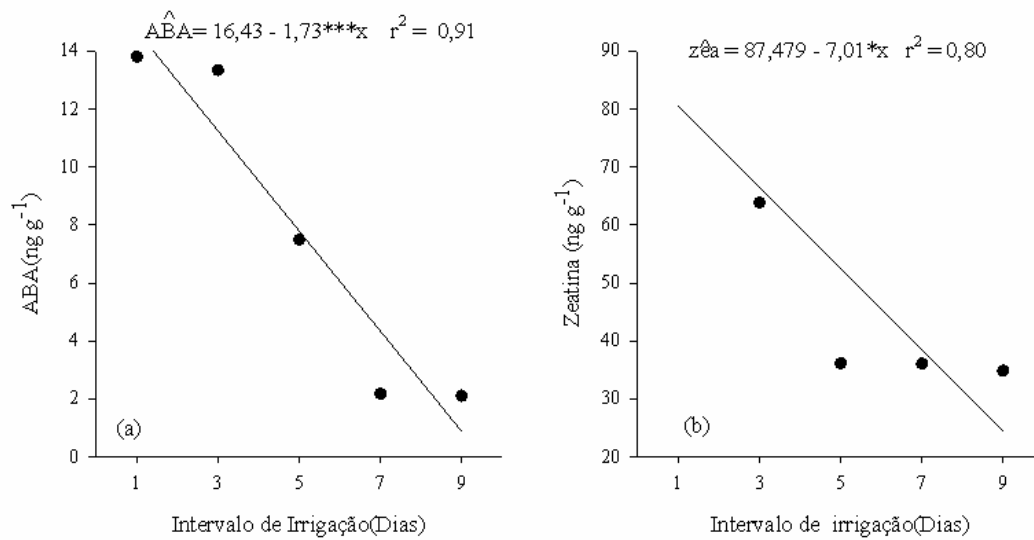


Figura 21: Teores de ABA (a) e zeatina (b) nas folhas sob os diferentes intervalos de irrigação.

*** e * significativo a 0,1% e 5,0% de probabilidade, pelo teste “t”, respectivamente. Intervalo de confiança de 95% (IC 95%).

Foi observada diferença significativa para a concentração de prolina nas folhas entre os intervalos de irrigação. Os maiores intervalos de irrigação de sete e nove dias expressaram os menores teores de prolina (Figura 22). Normalmente, além de ser um indicador de estresse, a prolina age na manutenção do equilíbrio hídrico e na preservação da integridade celular de proteínas, enzimas e membranas.

O resultado observado em relação à prolina no presente estudo sugere que o ajustamento osmótico manteve a turgescência das células após processos de aclimação ao déficit hídrico (LOPES, 2015). Deve-se menciona, contudo, que o processo de ajuste osmótico também resulta do acúmulo de compostos orgânicos, como sacarose e aminoácidos e principalmente a prolina, os quais diminuem o potencial osmótico e consequentemente, o potencial hídrico sem prejudicar o metabolismo da planta (LOPES, 2015). De acordo com HAYAT et al. (2012) baixa dose de prolina exógena protege as plantas da salinidade, seca, metais pesados e estresse por temperatura; no entanto, concentrações mais altas podem causar toxicidade. Corroborando esses relatórios, DAR et al. (2016) afirmaram que o acúmulo de prolina ocorre em ampla gama de espécies de plantas em resposta a vários tipos de estresse ambiental. Além disso, o teor de prolina das folhas de tomateiro flutua de acordo com a concentração de nutrientes e a radiação total e está intimamente relacionado com o teor relativo de água das folhas (CLAUSSEN,

2005). O resultado observado em relação à prolina neste estudo mostra que as plantas sob irrigação de sete e nove dias acumularam quantidades menores de prolina para realizar um possível ajuste osmótico.

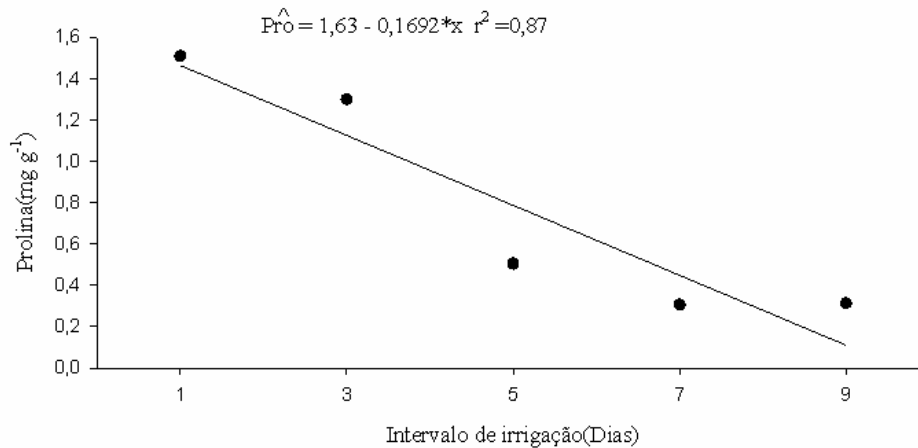


Figura 22: Teores de prolina nas folha sob os diferentes intervalos de irrigação.

*significativo a 5,0% de probabilidade pelo teste “t”. Intervalo de confiança de 95% (IC 95%).

4.10. Características físico-químicas e qualidade de frutos

Não foi observada diferença significativa para os teores totais de carotenoides na polpa de frutos (Figura 23, a e b). A média geral dos tratamentos para esta característica foi 60.93 ($\mu\text{g g}^{-1}$) de massa fresca (tabela 5). Conforme LEIVA-BROO (2016), esta média é considerada ótima para tomate, levando em consideração as condições experimentais em que o presente estudo foi realizado. Deve-se ressaltar que o experimento foi desenvolvido em campo aberto, onde as temperaturas médias eram de 20,16 °C em 2017 e 18,05 °C em 2018. Conforme, LOPEZ, (2004) frutos de tomates expostos à luz poderiam expressar maior concentração de β -caroteno, e consequentemente maior teor total de carotenoides. Conforme também destaca MU LAN (2016), a imposição de déficits hídricos no cultivo de tomate promove alterações na qualidade dos frutos de na atividade enzimática em frutos de tomate.

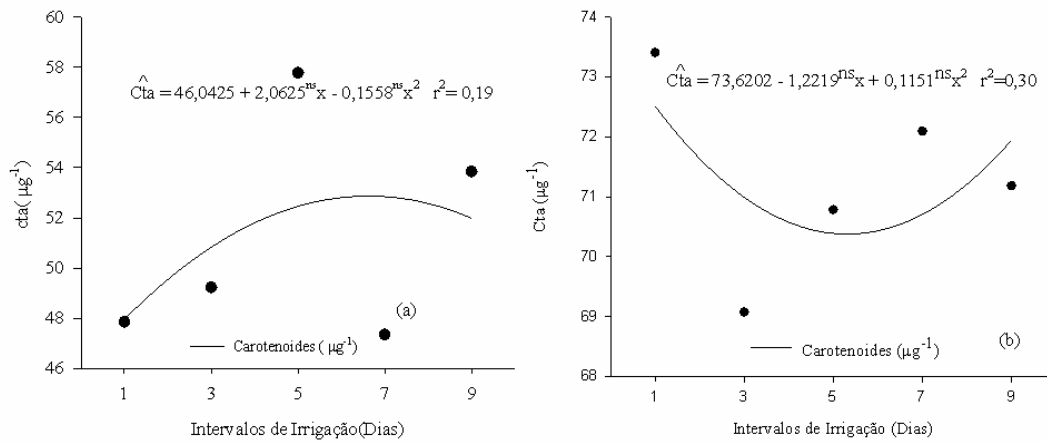


Figura 23: Carotenoides totais sob os diferentes intervalos de irrigação no experimento 1 (a) e no experimento 2 (b).

^{ns} Não Significativo a 5% de probabilidade pelo teste “t”. Intervalo de confiança de 95% (IC 95%).

Não houve diferença significativa para o teor de sólidos solúveis de frutos entre os tratamentos (Figura 24, a e b). A média geral foi 5,4°Brix (tabela 5). Os teores de sólidos solúveis observado observados neste estudo foram semelhantes a valores mencionados na literatura (ZAMBRANO, 1996; KLUGE, 1997). Um dos fatores que podem justificar aumento dos SST do tomate é a perda de massa, e também as reações de amadurecimento, que provocam a quebra do amido em açúcares simples, (KLUGE, 1997; MOURÃO, 2017). Deve-se ressaltar que o teor de sólidos solúveis é altamente influenciado pela temperatura, luminosidade, adubação, nitrogênio, densidade de plantio e irrigação (MELO, 2012; MINAMI, 1997). A combinação do manejo do solo e aplicação dos diferentes intervalos de irrigação não afetaram o teor de sólidos solúveis de frutos no presente estudo.

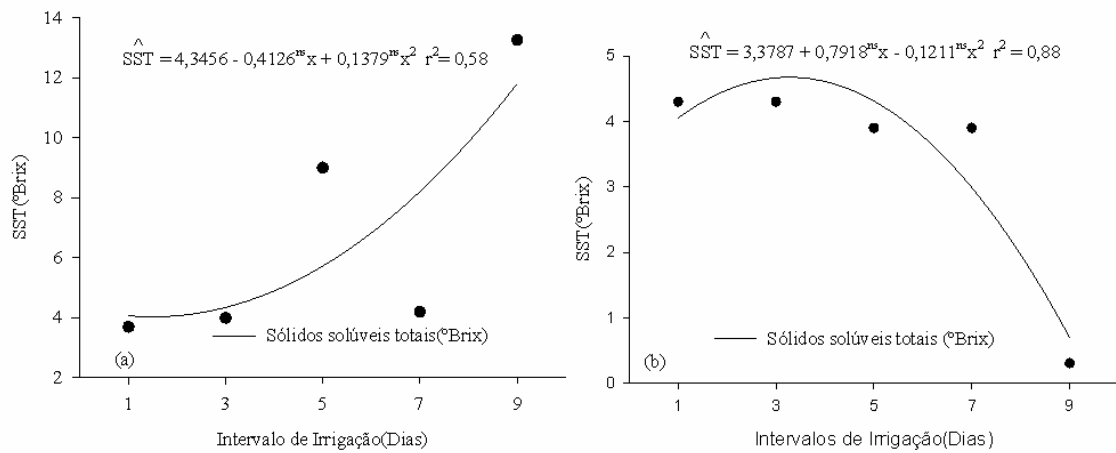


Figura 24: Sólidos solúveis sob os diferentes intervalos de irrigação no experimento 1 (a) e no experimento 2 (b).

^{ns} Não Significativo a 5% de probabilidade pelo teste “t”. Intervalo de confiança de 95% (IC 95%).

Não houve diferença significativa para o pH de frutos entre os tratamentos (Figura 25, a e b). O valor médio geral de pH foi 2,38, o qual é considerado ideal para tomate de mesa (MELO, 2012; BERTIN, N.; GENARD, M. 2018) (Tabela 5). De acordo com YEBIRZAF e KASSAYE (2018), o pH determina a concentração hidrogeniônica de uma solução e relaciona-se inversamente com a acidez, podendo variar dependendo do genótipo e do tipo de cultivo. Frutos com pH acima de 4,5 e teor de ácido cítrico abaixo de 0,35 g/100 g de massa fresca são indesejáveis, requerendo aumento da temperatura para esterilização e do tempo de processamento (MELO, 2012).

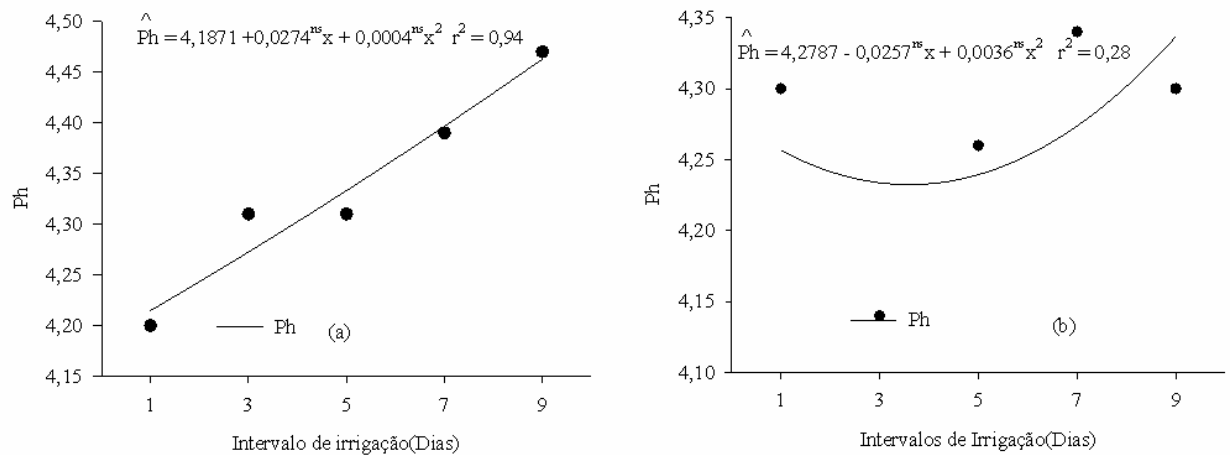


Figura 25: Ph de frutos sob os diferentes intervalos de irrigação no experimento 1 (a) e no experimento 2 (b).

^{ns} Não Significativo a 5% de probabilidade pelo teste “t”. Intervalo de confiança de 95% (IC 95%).

Não houve diferença significativa para a acidez titulável (AT) de frutos entre os tratamentos (figura 26 a e b) (tabela 5). O valor médio para esta característica foi 0,42%, valor considerado ótimo para tomate de mesa (NASCIMENTO, 2014). Alguns estudos reportam resultados semelhantes ao resultado encontrado para a acidez titulável de frutos obtidos no presente trabalho. Ao avaliarem frutos no estágio vermelho de maturação LISIEWSKA e KMIECIK (2000) reportaram médias para o teor de sólidos solúveis de 0,35%. RAMOS (2013), trabalhando com aplicação de reguladores vegetais na qualidade físico-química de frutos de tomateiro cultivar Giuliana, tenha obtido valores de acidez titulável variando entre 0,29% e 0,31%. RAMOS (2013), trabalhando com aplicação de reguladores vegetais na qualidade físico-química de frutos de tomateiro cultivar Giuliana, tenha obtido valores de acidez titulável variando entre 0,29% e 0,31%. Segundo KADER et al. (1978), os frutos de alta qualidade devem apresentar valores superiores a 0,32% de ácido cítrico.

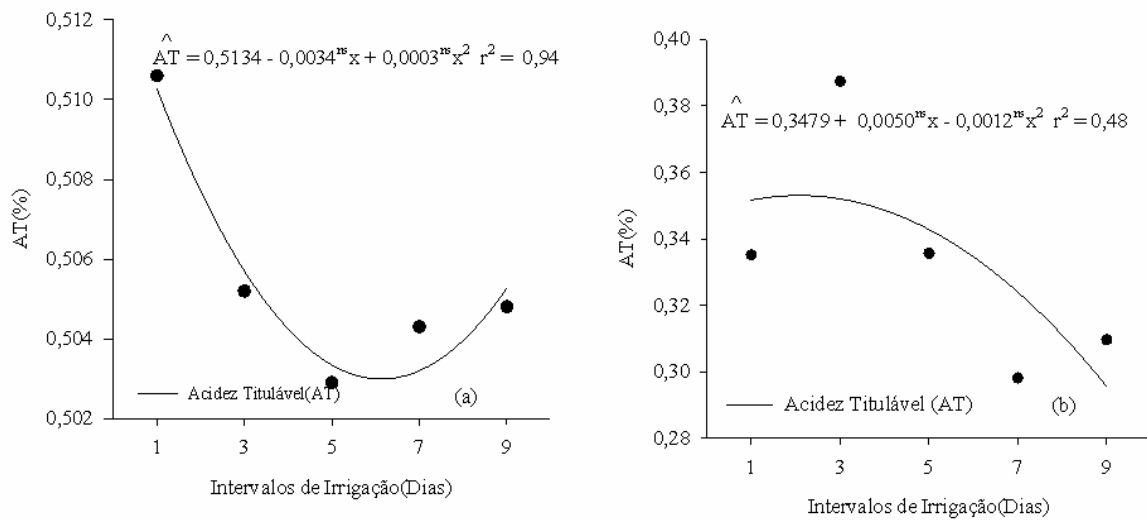


Figura 26: Acidez Titulável sob os diferentes intervalos de irrigação no experimento 1 (a) e no experimento 2 (b).

^{ns} Não Significativo a 5% de probabilidade pelo teste “t”. Intervalo de confiança de 95% (IC 95%).

Não houve diferença significativa para a firmeza de frutos entre os tratamentos (Figura 27, a e b). A firmeza de frutos variou de 14,53 N e 18,25 N entre tratamentos, com média de 13,07 N (tabela 5). Resultados semelhantes foram observados por FERREIRA et al. (2012), ao avaliarem características física e química em dois híbridos de tomate em diferentes estágios de maturação produzidos em Baraúna, Rio Grande do Norte. Estes autores encontraram valores de firmeza para os frutos do híbrido ‘Maraiana’ variando entre 13,23 N no estágio 1, até 12,88 N no Estádio 4. Já para o híbrido ‘MS-16, estes autores observaram variação entre 8,93 N no estágio 1, até 12,92 N no estágio 4. Entende-se eu a firmeza de frutos é um dos atributos de qualidade de maior importância na comercialização de tomate de mesa sendo a característica mais observada pelos consumidores. Frutos colhidos com boa firmeza possuem vida longa e também apresentam resistência a danos no transporte até a fase de comercialização (ALVARENGA, 2000; MOURA, 2017).

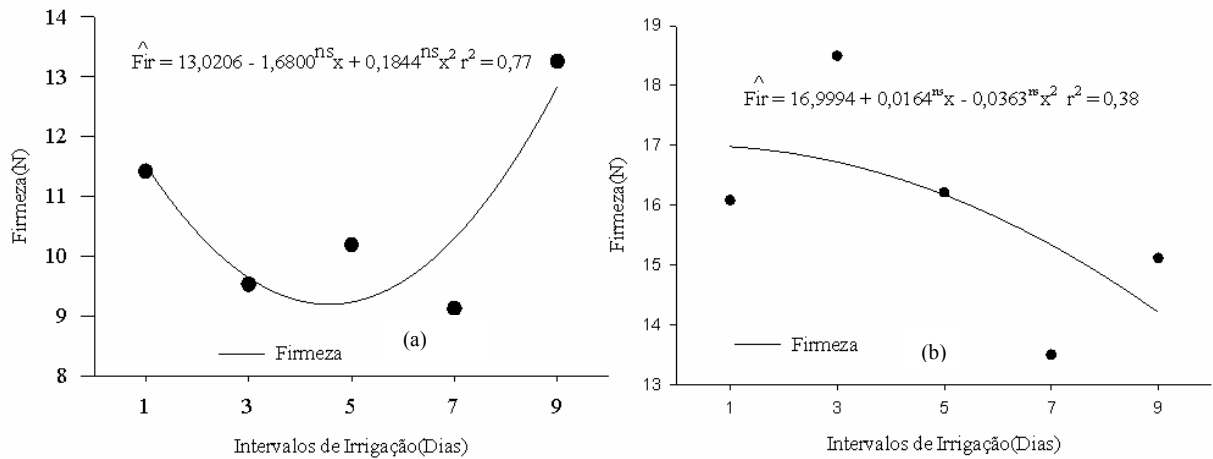


Figura 27: Firmeza de frutos sob os diferentes intervalos de irrigação no experimento 1 (a) e no experimento 2 (b).

^{ns} Não Significativo a 5% de probabilidade pelo teste “t”. Intervalo de confiança de 95% (IC 95%).

5. CONCLUSÕES

Os intervalos de irrigação tiveram efeitos significativos na maioria dos parâmetros em estudo. A produtividade de tomate para mesa em campo aberto aumenta até 53,87% em tratamentos com maiores intervalos de irrigação. Além disso, a maior eficiência do uso da água ocorreu nesses tratamentos.

O tutoramento “sistema Viçosa” utilizado permitiu obtenção de maior eficiência fotossintética e boa condutância estomática em todos os tratamentos. Melhor explicando, as plantas desenvolveram um sistema radicular com raízes laterais de maior distribuição em camadas mais profundas, possibilitando, assim, o atendimento das demandas das plantas por água perdida pela transpiração e evaporação do solo, por conseguinte permitindo assim melhorias nas trocas gasosas e aclimação de plantas as condições de baixa disponibilidade de água no solo

Já o comportamento da taxa fotossintética melhorou em função dos intervalos de irrigação, e os estômatos encontravam-se abertos e possibilitaram maior eficiência de carboxilação.

Os intervalos de irrigação não influenciaram os aspectos físico-químicos e qualidade de frutos. A aplicação de maiores intervalos de irrigação na produção de tomate de mesa consistiu em medida promissora tendo em vista à redução de estresse hídrico, maior produtividade e manutenção de aspectos físico-químicos de frutos.

Uma possível recomendação seria um intervalo de irrigação semanal, ou seja, de sete dias, ou então de nove dias porque as produtividades total e comercial ocorreram nesses intervalos de irrigação, justificando, assim, os efeitos benéficos dos intervalos de irrigação na produtividade, economia de água e energia na cultura de tomateiro em campo aberto.

7. Referência bibliográfica

ADIREDO, A.L., NAVAUD, O., MUÑOS, S., LANGLADE, N.B., LAMAZE, T., GRIEU, P. Genetic control of water use efficiency and leaf carbon isotope discrimination in sunflower (*Helianthus annuus* L.) subjected to two drought scenarios. **PLoS One**.v.9,p.101218 ,2014.

AGRIANUAL Anuário **da Agricultura Brasileira**. 1ª ed.Informa Economics FNP, São Paulo,Brasil,2018.

ALBUQUERQUE, J.A., REINERT, D.J. Densidade radicular do milho considerando os atributos de um solo com horizonte B textural. *Rev. Bras. Ciência do Solo*.25, 539–549,2001.

ALLEN, RICHARD G. *et al.* Evapotranspiración del cultivo Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. United Nations FAO, Rome: Estudio FAO Riego y Drenaje 56, 2006.

ALMEIDA, VICTOR S; et al. Sistema Viçosa para o cultivo de tomateiro Victor. **Horticultura Brasileira** . p. 74–79 , 2015.

ALMEIDA, V. S. et al. Optimizing yields in tomato cultivation: maximizing tomato plant use of resources. In: HANDA, A.; MATTOO, A. (Eds.). . **Achieving sustainable cultivation of tomatoes**. 1.ed. Sawston - Cambridge: Burleigh Dodds Science Publishing Limited, 2017. p. 542.

ALVARENGA, M. A. R. Tomate: produção em campo, casa-de-vegetação e em hidroponia. 2a ed. Lavras: Editora Universitaria UFLA, 2013.

ANGELI, K. P. et al. Yield components and water use efficiency in coriander under irrigation and nitrogen fertilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v. 20, n. 5, p. 415–420 , 2016.

ANTÔNIO, A. C. **Respostas ecofisiológicas do tomateiro no sistema Viçosa comparativamente a sistemas tradicionais em duas épocas de cultivo**. 2013. 60f. (Doutorado em Agronomia na área de Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.

ASHRAFA,M.; FOOLAD, M.R. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. **Environmental and Experimental Botany**.v.59,p. 206–216,2007.

ASHRAF, M. et al. Drought Tolerance: Roles of Organic Osmolytes, Growth Regulators, and Mineral Nutrients. **Advances in Agronomy**, v. 111, p. 249–296, 2011.

BARANKEVICZ, G.B., NOVELLO, D. RESENDE, J.T.V., SCHWARZ, K., SANTOS, E.F. Características físicas e químicas da polpa de híbridos de tomateiro, durante o armazenamento congelado. **Horticultura Brasileira**.v. 33,P. 007-011,2015.

BARBIERI E; MELO DJF de; ANDRADE LF; PEREIRA EWL; COMETTI NN. Condutividade elétrica ideal para o cultivo hidropônico de alface em ambiente tropical. **Horticultura Brasileira**.v. 28,n.2, p.303-308,2010.

BARRS, H. D. & WEATHERLEY, P. E. A re-examination of the Relative Turgidity Technique for estimating water deficits in leaves. **Aust. J. Biol. Sci**,v. 15,p. 413- 428,1962.

water-use efficiency among land plants. **New Phytol**.v.183,p.839–847,2009.

BAUER,H.;ACHE,P.; LAUTNER,S.;FROMM J.;HARTUNG W.;AL-RASHEID,K. ;SONNEWALD,S.; SONNEWALD,U.; KNEITZ,S.; LACHMANN,N.; MENDEL,R.R.; BITTNER,F.; HETHERINGTON,M.A. ; HEDRICH, R.The Stomatal Response to Reduced Relative Humidity Requires Guard Cell-Autonomous ABA Synthesis.**Science Direct** V.23,P.53-57,2013.

BERTIN N.,GENAR M., Tomato quality as influenced by preharvest factors **Scientia Horticulturae**. v.233 p.264–276,2018.

BERTOLINO, L.T.; CAINE; R.S.; GRAY,J.E. Impact of Stomatal Density and Morphology on Water-Use Efficiency in a Changing World. **Front.Plant Science**.V.10, p.1-225,2019.

BRODRIBB, T.J. Evolution of stomatal responsiveness to CO₂ and optimization of water-use efficiency among land plants. **New Phytol**.v.183,p.839–847,2009.

BRUGNOLI, E.; FARQUHAR, G. D. Photosynthetic Fractionation of Carbon Isotopes. In: **Photosynthesis**. [s.l.] Springer, Dordrecht, 2000. p. 399–434.

CALBO, A.G., FERREIRA, M.D., PESSOA, J.D.C. A leaf lamina compression method for estimating turgor pressure. **HortScience**. v.45,p. 418–423,2010.

CARMEIS FILHO, A. C. A. et al. Impact of amendments on the physical properties of soil under tropical long-term no till conditions. **PLOS ONE**, v. 11, n. 12, p. 1–21, 2016.

CHEN, Y.L.; JAIROPALTA; JONATHAN, C.; BEVAN, B.; SIDDIQUEB, K. H.M.; RENGEL, Z. Root architecture alteration of narrow-leafed lupin and wheat in response to soil compaction. **Field Crops Research**, v.165p.61–70, 2014.

CLAUSSEN, WILFRIED. Proline as a measure of stress in tomato plants. **Plant Science** v. 168, n. 1, p. 241–248, 2005.

CONDON, A G; RICHARDS, R A; REBETZKE, G J. FARQUHAR, G. D. Breeding for high water-use efficiency. **Journal of Experimental Botany**. v.55, n.407, p.2447-2460.

CORNIC, G.; MASSACCI, A. Leaf photosynthesis under drought stress. In: **Photosynthesis and the Environment**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1996. p. 347–366.

CUI, J., SHAO, G., LU, J., KEABETSWE, L., & HOOGENBOOM, G. (2020). Yield, quality and drought sensitivity of tomato to water deficit during different growth stages. **Scientia Agricola**. v.77, p.1-19, 2020.

CUTLER, S. R. et al. Abscisic Acid: Emergence of a Core Signaling Network. **Annual Review of Plant Biology**, v. 61, n. 1, p. 651–679, 2010.

DAR, M.I.; *et al.* Proline accumulation in plants: roles in stress tolerance and plant development. **Osmolytes and Plants Acclimation to Changing Environment** n. January, p. 1–170, 2016.

DELAZARI, F. T. et al. Irrigation water management during the ripening of tomato aiming fruit quality. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 44, p. 4525–4531, 2016.

DOS SANTOS, E.L. HENRIQUE D.; JULIO C. F.; MARCOS JOSÉ V.; ALVADI A.; BALBINOT J. Chiseling and gypsum application affecting soil physical attributes, root growth and soybean yield. **Revista Ciência Agronômica**, v. 50, n. 4, p. 536-542, 2019.

FAOSTAT, 2018. **Statistical databases**. Disponível em: <http://faostat.fao.org>.

FAOSTAT, 2015. **Statistical databases**. Disponível em: <http://faostat.fao.org>.

FARBER, MIKA ; ATTIA, ZIV ; WEISS, D. Cytokinin activity increases stomatal density and transpiration rate in tomato. **Journal of Experimental Botany**, v. 67, n. 22 pp. 6351–6362, 2016.

FARA, S. J., TEIXEIRA DELAZARI, F., SILVA GOMES, R., ARAÚJO, W. L., & DA SILVA, D. J. H. Stomata opening and productivity response of fresh market tomato under different irrigation intervals. **Scientia Horticulturae**. v.255, p. 86–95, 2019.

FARQUHAR, G. D.; EHLERINGER, J. R.; HUBICK, K. T. Carbon Isotope Discrimination 41 and Photosynthesis. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 40, n. 1, p. 503–537, 1989.

FAROOQ M., WAHID, A., KOBAYASHI, N., S.M.A. FUJITA, D.B. Plant drought stress : effects , mechanisms and management. **Agron. Sustain. Dev. Springer Verlag/EDP Sci.**v. 29(1),p.185–212,2009.

FAUCON M-P, HOUBEN D, LAMBERS H. Plant functional traits: soil and ecosystem services. **Trends Plant Sci.** v.22,p.385–394,2017.

FAYAD, JAMIL ABDALLA et al. Absorção de nutrientes pelo tomateiro cultivado sob condições de campo e de ambiente protegido. **Horticultura Brasileira** v. 20, n. 1, p. 90–94 , 2002.

FERRAZ, D.S., LUCIANO, R., MELO, S. DE, SUASSUNA, F., ECÓTIPOS, E.M., CULTIVADOS, D.E.F., SEMIÁRIDO, N.O. Trocas gasosas e eficiência fotossintética em ecótipos de feijoeiro cultivados no semiárido. **Pesqui. Agropecuária Trop.**v. 42,p.181–188,2012.

FERREIRA, ANA ISABEL AMARAL JANEIRO VIEGAS. **Espectrometria de massa de razões isotópicas.** 2008. 348 p.

FERREIRA, S.M.R., QUADROS, D.A. DE, KARKLE, E.N.L., LIMA, J.J. DE, TULLIO, L.T., FREITAS, R.J.S. Qualidade pós-colheita do tomate de mesa convencional e orgânico. **Ciência e Tecnol. Aliment.**v.30,p.858–869,2010.

FORCAT, SILVIA ;BENNETT, MARK H. ;MANSFIELD, JOHN W. GRANT, MURRAY R. A rapid and robust method for simultaneously measuring changes in the phytohormones ABA, JA and SA in plants following biotic and abiotic stress.**Plant methods**,v.4,n.1,p.2008.

FLORES, M. E. P.;SILVA, D. J. H.;OLIVA, M.;VALE, F. X.R. ;AGUILERA, J. G.; ELSAYED, A. Y. Photosynthesis, leaf area index and productivity of tomato (*lycopersicon esculentum* mill.) germplasm. **Egypt. J. Agric. Res.**V. 86,n.3, 2008.

FRANKS, P.J., DRAKE, P.L., AND BEERLING, D.J. Plasticity in maximum stomatal conductance constrained by negative correlation between stomatal size and density: an analysis using *Eucalyptus globulus*. **Plant, Cell and Environ** 32, 1737–1748,2009.

- FREIRE, F.J., FREIRE, M.B.G.S., ROCHA, A.T., OLIVEIRA, A.C. Gesso mineral do Araripe e suas implicações na produtividade agrícola da cana-de-açúcar no estado de Pernambuco, Brasil. **An. da Acad. Pernambucana Ciência Agronômica**.v. 4, 199–213,2014.
- GALDON-ARMERO, J., FULLANA-PERICAS, M., MULET, P.A., CONESA, M.A., MARTIN, C., GALMES, J. The ratio of trichomes to stomata is associated with water use efficiency in *Solanum lycopersicum* (tomato). **Plant J**. v.96, 607–619,2018.
- GALMÉS, J., CONESA, M.A., OCHOGAVÍA, J.M., PERDOMO, J.A., FRANCIS, D.M., RIBAS-CARBÓ, M., SAVÉ, R., FLEXAS, J., MEDRANO, H., CIFRE, J. Physiological and morphological adaptations in relation to water use efficiency in Mediterranean accessions of *Solanum lycopersicum*. **Plant Cell Environ**.v.34, p.245–260,2011.
- GONÇALVES, B.;CORREIA, CARLOS M.;SIVA, A.P.;BACELAR, E.A.;SANTOS, A. MOUTINHO-PEREIRA, J.M. Leaf structure and function of sweet cherry tree (*Prunus avium* L .) cultivars with open and dense canopies. **Scientia Horticulturae**,v.116,n.1,p. 381–387.
- HAYAT, SHAMSUL et al. Role of proline under changing environments. **Plant Signaling & Behavior**. v. 7, n. 11, p. 1456–1466 , 2012.
- HAN, H., REN, Y., GAO, C., YAN, Z., LI, Q. Response of winter wheat grain yield and water use efficiency to deficit irrigation in the North China. **Plain**.v. 29,p. 971–977,2018.
- HARMANTO VM, SALOKHE BMS; TANTAU HJ. 2004. Water requirement of drip irrigated tomatoes grown in greenhouse in tropical environment. **Agricultural Water Management**.v.71.p.225-242,2004.
- HART DJ, SCOTT KJ . Development and evaluation of an HPLC method for the analysis of carotenoids in foods, and the measurement of the carotenoid content of vegetables and fruits commonly consumed in the UK. **Food Chem**,v.54,p.101-111,1995.
- HOLBROOK,et al. Balanço hídrico das plantas (capítulo 4). em *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*, 6 ed. de Licon Taiz 2017.
- HOU-GUO ;LIN, HONG-HUI . Effects of water stress on major photosystem II gene expression and protein metabolism in barley leaves. **Physiol. Plant**,V.125,p.464-473,2005.
- HUI, Y. et al. Evaluation of tomato fruit quality response to water and nitrogen management under alternate partial root-zone irrigation. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 10, n. 5, p. 85–94, 2017.

- HSU, S.Y., HSU, Y.T., KAO, C.H. The effect of polyethylene glycol on proline accumulation in rice leaves. **Biol. Plant**, v.46, p. 73–78, 2003.
- ISMAIL, S.M., OZAWA, K., KHONDAKER, N.A. Influence of single and multiple water application timings on yield and water use efficiency in tomato (var. First power). **Agricultural Water Management**, v.95, p.116–122, 2008.
- ITLE, RACHEL A.; KABELKA, EILEEN A. Correlation Between Lab Color Space Values and Carotenoid Content in Pumpkins and Squash (*Cucurbita* spp.). **HortScience** v. 44, n. 3, p. 633–637, 2009.
- JIA, Q. et al. Soil & Tillage Research Mulch covered ridges affect grain yield of maize through regulating root growth and root-bleeding sap under simulated rainfall conditions. **Soil & Tillage Research**, v. 175, n. September 2017, p. 101–111, 2018a.
- JIANG, F.; HARTUNG, W. Long-distance signalling of abscisic acid (ABA): the factors regulating the intensity of the ABA signal. **Journal of Experimental Botany**, v.59, n. 1, p. 37–43, 2008.
- JIN, K. et al. Wheat root growth responses to horizontal stratification of fertiliser in a water-limited environment. **Plant Soil**, v. 386, p. 77–88, 2015.
- JONES, H.G., STOLL, M., SANTOS, T., DE SOUSA, C., CHAVES, M.M., OLGA M. GRANT. Use of infrared thermography for monitoring stomatal closure in the field: application to grapevine. **J. of exp. botany**, v.53, n.53, p.2249–2260.
- KADER, A.A. Perspective Flavor quality of fruits and vegetables. **J. Sci. Food Agric**, v.88, p.1863–1868, 2008.
- KADER, A.A.; et al. Composition and flavor quality of fresh market tomatoes as influenced by some postharvest handling procedures. **Journal American Society for Horticultural Science** v. 103, n. 1, p. 6–13, 1978.
- KAHLAOU, B., HACHICHA, M., MISLE, E., FIDALGO, F., & TEIXEIRA, J. (2018). Physiological and biochemical responses to the exogenous application of proline of tomato plants irrigated with saline water. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 17(1), p.17–23, 2018.
- KARLBERG, L.; ROCKSTRÖM, J.; ANNANDALE, J.G.; STEYN, J.M. Low-cost drip irrigation: a suitable technology for southern Africa? **Agricultural Water Management**, v.89, p.59–70, 2007.

KAHLON, M.S., KHURANA, K. Effect of land management practices on physical properties of soil and water productivity in wheat- maize system of Northwest India. *Appl. Ecol. Environ. Res.*v.15,p. 1–13,2017.

KAVITHA, P.; SHIVASHANKARA, K. S.; RAO, V. K.; SADASHIVA, A. T.; RAVISHANKAR, K. V.; & SATHISH, G. J. Genotypic variability for antioxidant and quality parameters among tomato cultivars, hybrids, cherry tomatoes and wild species. **Journal of the Science of Food and Agriculture**.v. 94(5),p. 993–999,2013.

KAVI KISHORE, P.B., SANGAM, S., AMRUTHA, R.N., LAXMI, P.S., NAIDU, K.R., RAO, K.R.S.S., RAO, S., REDDY, K.J., THERIAPPAN, P., SREENIVASULU, N. Regulation of proline biosynthesis, degradation, uptake and transport in higher plants: its implications in plant growth and abiotic stress tolerance. **Curr. Sci.**v.88,p. 424–438,2005.

KELL,D. Breeding crop plants with deep roots: Their role in sustainable carbon, nutrient and water sequestration.**Anal of botany**.V. 108,n.3,p.:407-18,2011.

KHAPTE,P.S. ; KUMAR,P., BURMAN, UDAY ; KUMAR, PRAVEEN. Deficit irrigation in tomato: Agronomical and physio-biochemical implications.**Scientia Horticulturae**.v.248.p. 256–264,2019.

KIRDA, C., CETIN, M., DASGAN, Y., TOPCU, S., KAMAN, H., EKICI, B., DERICI, M.R., OZGUVEN,A.I. Yield response of greenhouse grown tomato to partial root drying and conventional deficit irrigation. *Agric. Water Manag.*v.69,p. 191–201,2004.

KIRNAK,H., DEMIRTAS,M.N. Effects of Different Irrigation Regimes and Mulches on Yield and Macronutrition Levels of Drip-Irrigated Cucumber Under Open Field Conditions. **Journal of Plant Nutrition**.V. 29,n.9, p.1675-1690,2006.

KLUGE, R.A.; MINAMI, K. Efeito de ésteres de sacarose no armazenamento de tomates `santa clara`. **scientia Agricola** v. 54, n. 1, p. 1–7 , 1997.

KLUNKLIN,W. ; SAVAGE G. Effect on Quality Characteristics of Tomatoes Grown Under Well-Watered and Drought Stress Conditions. *Foods*, 6(8), 56,2017.

LOPES,NEI FERNANDES;LIMA,MARIA DA GRAÇA DE SOUZA.Fisiologia da produção.Ed.UFV:Viçosa-MG, 2015.P.492.

KOEVOETS IT, VENEMA JH, ELZENGA JTM, TESTERINK C. Roots withstanding their environment: exploiting root system architecture responses to abiotic stress to improve crop tolerance. **Front Plant Sci.**v.7,p.1335,2016.

KOST,D.et al. Meta-Analysis of Gypsum Effects on Crop Yields and Chemistry of Soils, Plant Tissues, and Vadose Water at Various Research Sites in the USA.**jornal of environmental quality.**V.47,n.5,p.1284,2018.

LEIVA-BRONDO, M.; VALCARCEL, M.; MARTÍ, R.; ROSELLÓ, S.; CEBOLLA-CORNEJO, J. New opportunities for developing tomato varieties with enhanced carotenoid content, **Sci. Agric.** v.73, n.6, p.512-519,2016.

López, C.; Andrés F.;Gómez, P. A. Comparison of color indexes for tomato ripening. **Horticultura Brasileira**, v.22, n.3, p.534-537,2004.

LI, Q. et al. Root growth, available soil water, and water-use efficiency of winter wheat under different irrigation regimes applied at different growth stages in North China. **Agricultural Water Management**, v. 97, n. 10, p. 1676–1682, 2010.

LI, H., DENG, Z., LIU, R., LOEWEN, S., & TSAO, R. Ultra-performance liquid chromatographic separation of geometric isomers of carotenoids and antioxidant activities of 20 tomato cultivars and breeding lines. **Food Chemistry.** v. 132(1), p.508–517,2012.

LISIEWSKA, Z.; KMIĘCIK, W. Effect of storage period and temperature on the chemical composition and organoleptic quality of frozen tomato cubes. **Food Chemistry** v. 70, n. 2, p. 167–173 , 2000.

LU, T., QI, M., LIU, Y., MENG, Z., LI, T., ZHANG, G., SUN, Z. Sub-high Temperature and High Light Intensity Induced Irreversible Inhibition on Photosynthesis System of Tomato Plant (*Solanum lycopersicum* L.). **Front. Plant Sci.**v. 08,p. 1–16,2017.

LU, N., NUKAYA, T., KAMIMURA, T., ZHANG, D., KURIMOTO, I., TAKAGAKI, M., MARUO, T., KOZAI, T., YAMORI, W. Control of vapor pressure deficit (VPD) in greenhouse enhanced tomato growth and productivity during the winter season. **Sci. Hortic.** (Amsterdam). v.197,p. 17–23,2015.

MAAS, E. V.; HOFFMAN, G. J. Crop salt tolerance - Current Assessment. Journal of Irrigation and Drainage Division, v.103, p.115-134, 1977.

MACHADO,R.M.A.; ROSARIO,M.; OLIVEIRA,G. & PORTAS,C.A.M.Tomato root

distribution, yield and fruit quality under subsurface drip irrigation. *Plant and Soil*. v. 255, p.333–341, 2003.

MACHADO, EDUARDO CARUSO; SCHMIDT, PATRÍCIA TAMBELLI; LÁZARO, CAMILO; RIBEIRO, RAFAEL VASCONCELOS. Respostas da fotossíntese de três espécies de citros a fatores ambientais, v.42, n.12, p. 1161-1170, 2005.

MACPHERSON et al. The Pungency of Garlic : Activation of TRPA1 and TRPV1 in Response to Allicin. *Current biology*, V.15, p.929-934, 2005.

MAHAJAN, G., SINGH, K.G. Response of greenhouse tomato to irrigation and fertigation. *Agricultural Water Management*. v.84, p. 202–206, 2006.

MANOHARAN, R.K. ; JUNG, H-J.; HWANG, I. ; JEONG, N.; KHO, K.H. ; CHUNG, M.H. ; NOU, I.S. Molecular breeding of a novel orange- brown tomato fruit with enhanced beta-carotene and chlorophyll accumulation. *Hereditas*, v.150, n.1, p.1-8, 2017.

MANTOVANI, EVERARDO C *et al.* Yield and water use efficiency for two sweet potato cultivars depending on irrigation depths. *Horticultura Brasileira* v. 31, n. 4, p. 602–606 , dez. 2013.

MARRACCINI, P. et al. Differentially expressed genes and proteins upon drought acclimation in tolerant and sensitive genotypes of *Coffea canephora*. *Journal of Experimental Botany*, v. 63, n. 11, p. 4191–4212, 2012.

MARQUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C. Irrigação por gotejamento do tomateiro industrial durante o estágio de frutificação, na região de Cerrado. *Horticultura Brasileira*, v.24, p.342-346, 2006.

MARUR, C. J.; FARIA, R.T. Photosynthesis of individual leaves in a coffee plant. *Acta Sci. Agron.* v.28, p. 331–335, 2006.

MARIJUAN, M. P.; BOSCH, S. M.-. Ecophysiology of invasive plants: Osmotic adjustment and antioxidants. *Trends in Plant Science*, v. 18, n. 12, p. 660–666, 2013.

MEDRANO, H.J.M.; ESCALONA, J.; BOTA, J.; GULÍAS, J. FLEXAS, J. Regulation of Photosynthesis of C₃ Plants in Response to Progressive Drought : Stomatal Conductance as a Reference Parameter. *Annals of Botany*, V. 89, P.895-905, 2002.

- MELO, P.C.T. Cultivares de tomate com características agrônômicas e industriais para a produção de atomatados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 52. Horticultura Brasileira 30. Salvador: ABH. S8446-S8454.2012.
- MONTE JA; PACHECO AS; CARVALHO DF; PIMENTEL C. Influência do turno de rega no crescimento e produção do tomateiro no verão em Seropédica. **Horticultura Brasileira**. V.27 P.222-227,2009.
- MONTEIRO, JOSÉ EDUARDO B.A. *et al.* Estimação da área foliar do algodoeiro por meio de dimensões e massa das folhas. **Bragantia** v. 64, n. 1, p. 15–24 , 2005.
- MORALES, R.G.F. Resistência ao déficit hídrico em famílias de tomateiro derivados de *Solanum pennellii* .ed.UFLA.Lavras,Brasil,2012.
- MOURÃO, I; BRITO, LM; MOURA, L; FERREIRA, ME; COSTA, SR. The effect of pruning systems on yield and fruit quality of grafted tomato. **Horticultura Brasileira** 35: 247-251,2017.
- MU,L.;FANG,L.Changes in Tomato Fruit Quality and Antioxidant Enzyme Activities under Deficit Irrigation and Fertilizer Application in a Solar Greenhouse in Northwest China. **Com. in Soil Sci. and Plant Analysis**,v.47,n.10,p. 1329-1341,2016.
- MÜLLER, M.; MUNNÉ-BOSCH, S. Rapid and sensitive hormonal profiling of complex plant samples by liquid chromatography coupled to electrospray ionization tandem mass spectrometry. **Plant Methods**, v. 7, n. 1, p. 37, 2011.
- MURAYAMA, S. Horticultura. - 2 ed.- Instituto Campineiro de Ensino Agrícola. Campinas, 1983.
- NAHAR K., ULLAH S. M., ISLAM N. Osmotic adjustment and quality response of five tomato cultivars (*Lycopersicon esculentum* Mill.) following water deficit stress under subtropical climate. **Asian Journal of Plant Science**.v.10,p.153–157,2011.
- NAKANO, Y. Response of tomato root systems to environmental stress under soilless culture. **Japan Agric. Res**.v. 41,p. 7–15,2007.
- NASCIMENTO, ROXANA S M.; CARDOSO, JOSÉ A.; COCOZZA, FABIO D M. Caracterização física e físico-química de frutos de mangabeira (*Hancornia speciosa* Gomes) no oeste da Bahia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.18, n.8, p.856–860, 2014.

O'LEARY, MARION H. Carbon Isotopes in Photosynthesis: Fractionation techniques may reveal new aspects of carbon dynamics in plants. **BioScience** v. 38, n. 5, p. 328–336 , 2015.

PATANÈ, C. et al. Physiological screening for drought tolerance in Mediterranean long-storage tomato. **Plant Science**, v. 249, p. 25–34, 2016.

PATANE, C., TRINGALI, S., SORTINO, O. Effects of deficit irrigation on biomass , yield , water productivity and fruit quality of processing tomato under semi-arid Mediterranean climate conditions . **Scientia Horticulturae**.v.129,p. 590–596,2011.

PERNICE, R. PARISI, M. GIORDANO, I., PENTANGELO, A., GRAZIANI, G., GALLO, M., FOGLIANO, V., RITIENI, A. Antioxidants profile of small tomato fruits: Effect of irrigation and industrial process. **Scientia Horticulturae journal**.V.126,n.2,p. 156-163,2010.

PERVEEN,R., SULERIA, H. A. R., ANJUM, F. M., BUTT, M. S., AHMAD, IMRAN P.S. Tomato (*Solanum lycopersicum*) Carotenoids and Lycopenes Chemistry; Metabolism, Absorption, Nutrition, and Allied Health Claims. **A Comprehensive Review, Critical Reviews in Food Science and Nutrition**. V.55,n.7,p. 919-929,2015.

PETROVIĆ, I.; SAVIĆ, S.; JOVANOVIĆ, Z.; STIKIĆ, R.; BRUNEL, B.; SÉRINO, S.; BERTIN, Z. Fruit quality of cherry and large fruited tomato genotypes as influenced by water déficit .**Zemdirbyste-Agriculture**. v.106,p. 123–128,2019.

PIC E, TEYSSENDIER B, TARDIEU F, TURE O. Leaf senescence induced by mild water deficit follows the same sequence of macroscopic, biochemical, and molecular events as monocarpic senescence in Pea1. *Plant Physiol*, v.128,p.236-246,2002.

PIRES DE CAMARGO FILHO, W., PIRES DE CAMARGO, F. Evolução das cadeias produtivas de tomate industrial e para mesa no brasil. **Informações Econômicas**.v.47,p. 1-10,2017.

POTOPOVA, VERA; ZAHRADNICEK, PAVEL ; ŠTEPANEK, PETR ; TÜRKOTT, LUBOS ; FARDA, ALES ; SOUKUP, JOSEF .The impacts of key adverse weather events on the field-grown vegetable yield variability in the Czech Republic from 1961 to 2014. **Int. J. Climatol**. v.37, P.1648–1664, 2017.

PREECE C, PEÑUELAS J. Rhizodeposition under drought and consequences for soil communities and ecosystem resilience. **Plant Soil**.v. 409,p.1–17,2016.

RAMOS A. R. P. **Produtos de efeitos fisiológicos no desenvolvimento de plantas de tomate ‘giuliana’, na produção e pós-colheita de frutos**. 2013.147f. (Doutorado em Agronomia) Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP – Câmpus de Botucatu,SP,2013.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - SBCS, 1999.

RHODES, D., HANSON, A.D. Quaternary ammonium and tertiary sulfonium compounds in higher-plants. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.*v.44,p.357–384,1993.

ROMERO-ARANDA R, SORIA T, CUARTERO J. Tomato plant-water uptake and plant-water relationships under saline growth conditions. *Plant Sci.* v.160, p.265–272,2001.

SAEED, R., AHMAD, R. Vegetative growth and yield of tomato as affected by the application of organic mulch and gypsum under saline rhizosphere. *Pakistan J. Bot.*v. 41,p. 3093–3105,2009.

SAAVEDRA, MEDINA TARSICIO; FIGUEROA, G. S.A.; DZUL, J. G.C. MEDINA, T.; GABRIELA, S. Origin and evolution of tomato production *Lycopersicon esculentum* in México. *Ciência Rural, Santa Maria*, v.47n.03,2017.

SAH,S.K.; REDDY,K.R.; LI,J.Absciscic Acid and Abiotic Stress Tolerance in Crop Plants.*Front.Plant.Sci.*V.7,p.571,2016.

SIRICHANDRA, C., GU, D., HU, H.-C., DAVANTURE, M., LEE, S., DJAOUI, M., KWAK, J. M. Phosphorylation of the Arabidopsis AtrbohF NADPH oxidase by OST1 protein kinase. *FEBS Letters*.v.583(18), p.2982–2986,2009.

SIRICHANDRA, C., GU, D., HU, H.-C., DAVANTURE, M., LEE, S., DJAOUI, M., KWAK, J. M. Phosphorylation of the Arabidopsis AtrbohF NADPH oxidase by OST1 protein kinase. *FEBS Letters*,v.583(18), p.2982–2986,2009.

SILVA, J.M. DA, FERREIRA, R.S., MELO, A.S. DE, SUASSUNA, J.F., DUTRA, A.F., GOMES, J.P. Cultivo do tomateiro em ambiente protegido sob diferentes taxas de reposição da evapotranspiração. *Rev. Bras. Eng. Agrícola e Ambient*.v17,p. 40–46,2013.

STANGHELLINI,C., VAN MEURS.,W.TH.M. Environmental control of greenhouse crop transpiration. *Journal of agricultural engineering research* V.51,P.297-311,1992.

SUN,Q.,WANG,Y.,CHEN,G., YANG,H.; DU.T. Water use efficiency was improved at leaf

and yield levels of tomato plants by continuous irrigation using semipermeable membrane. **Agricultural Water Management journal**, v.203.p.430-437,2018.

SUN, J. et al. Inconsistency of mesophyll conductance estimate causes the inconsistency for the estimates of maximum rate of Rubisco carboxylation among the linear, rectangular and non-rectangular hyperbola biochemical models of leaf photosynthesis-A case study of CO₂. **Plant Science**, v. 226, p. 49–60, 2014.

SUN, Q. ;WANG, Y. ;CHEN, G. ;YANG, H.; DU, T. Water use efficiency was improved at leaf and yield levels of tomato plants by continuous irrigation using semipermeable membrane. **Agricultural Water Management**, v.203,p.430–437,2018.

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

TARDIEU, F. Any trait or trait-related allele can confer drought tolerance: just design the right drought scenario. **J. Exp. Bot.** v.63, p.25–31,2011.

TIEMAN, D., ZHU, G., RESENDE, M.F.R., LIN, T., NGUYEN, C., BIES, D., RAMBLA, J.L., BELTRAN, K.S.O., TAYLOR, M., ZHANG, B., IKEDA, H., LIU, Z., FISHER, J., ZEMACH, I., MONFORTE, A., ZAMIR, D., GRANELL, A., KIRST, M., HUANG, S., KLEE, H. A chemical genetic roadmap to improved tomato flavor. **Science**.v.355, p.391–394,2017.

TOPCU, S.; KIRDA, C.; DASGAN, Y.; KAMAN, H.; CETIN, M.; YAZICI, A.; BACON, M.A. Yield response and N-fertiliser recovery of tomato grown under deficit irrigation. **European Journal of Agronomy**.v.26, p.64-70,2007.

TREJO, C., RAM, C., PE, C.B., CH, L.T., SALAZAR, A.C., ORDAZ, L.A. Técnica de riego para incrementar la eficiencia del uso de agua en jitomate* irrigation technique to increase the efficiency of water use in tomato. **Rev. Mex. Cienc. Agríc**.v.2,p. 475–488,2011.

TURKINGTON, T.K., KUZYK, A., DUNN, R., MCLAREN, D., IRVINE, B., CLEAR, R.M. Irrigation and plant disease management. **Plant Disease**.v.80,p. 49–52,2014.

VERSLUES, PAUL E. ABA and cytokinins: challenge and opportunity for plant stress research. **Plant Molecular Biology** v. 91, n. 6, p. 629–640 , 2016.

VRUGT,J. A.; HOPMANS,J. W.; SIMUNEK, J. Calibration of a Two-Dimensional Root Water Uptake Model. **Soil Sci. Society of America J.** V..65n.4p.1027-1037,2001.

WANG, B., CHEE, P.W. Application of advanced backcross quantitative trait locus (QTL)

analysis in crop improvement. **J. Plant Breed. Crop Sci.**v.2,p. 221–232,2010.

WANG X.; YUN,J.;SHI, P. ; LI,Z. ; LI,P. ; XING,Y. Root Growth, Fruit Yield and Water Use Efficiency of Greenhouse Grown Tomato Under Different Irrigation Regimes and Nitrogen Levels. **Jornal of Plant Growth Regulation**,v.38 p. 400–415,2019.

WEI, Z. et al. Carbon isotope discrimination shows a higher water use efficiency under alternate partial root-zone irrigation of field-grown tomato. **Agricultural Water Management**, v. 165, p. 33–43, 2016.

WEI, Z. et al. Simulation of Stomatal Conductance and Water Use Efficiency of Tomato Leaves Exposed to Different Irrigation Regimes and Air CO₂ Concentrations by a Modified “Ball-Berry” Model. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, n. April, p. 445, 2018.

WHITTAKER, A. et al. Sucrose phosphate synthase activity and the co-ordination of carbon partitioning during sucrose and amino acid accumulation in desiccation-tolerant leaf material of the C₄ resurrection plant *Sporobolus stapfianus* during dehydration. **Journal of Experimental Botany**, v. 58, n. 13, p. 3775–3787, 2007.

YEBIRZAF, Y.;KASSAYE, T. Postharvest quality of tomato (*Solanum lycopersicum*) varieties grown under greenhouse and open field conditions Int. J. Biotechnol. Mol. Biol. Res.,v.9,n.1,p.1-6,2018.

YUAN, SHU ;LIU, WEN-JUAN ;ZHANG, NIAN-HUI ;WANG, MA-BIN ;LIANG, WANG X.; YUN, J.;SHI, P. ; LI,Z. ; LI,P. ; XING,Y. Root Growth, Fruit Yield and Water Use Efficiency of Greenhouse Grown Tomato Under Different Irrigation Regimes and Nitrogen Levels. **Jornal of Plant Growth Regulation**,v.38 p. 400–415,2019.

ZAMBRANO, J.; MOYEJA, J.; PACHECO, L. Efecto del estado de madurez en la composición y calidad de frutos de tomate. **Agronomía tropical** v. 46, n. 1, p. 61–72 , 1996.

ZHANG, H., XIONG, Y., HUANG, G., XU, X., HUANG, Q. Effects of water stress on processing tomatoes yield, quality and water use efficiency with plastic mulched drip irrigation in sandy soil of the Hetao Irrigation District. **Agric. Water Manag.** v.179,p. 205–214,2017.

ZHANG, Z. ; CAO, B.; LI, N. ; CHEN, Z. ; XU, K. Comparative transcriptome analysis of the regulation of ABA signaling genes in different rootstock grafted tomato seedlings under drought stress. **Environmental and Experimental Botany**,v.166, p.1-22,2019.

ZHENG, T.C., ZHANG, X.K., YIN, G.H., WANG, L.N., HAN, Y.L., CHEN, L., HUANG, F., TANG, J.W., XIA, X.C., and HE, Z.H. Field Crops Research Genetic gains in grain yield , net photosynthesis and stomatal conductance achieved in Henan Province of China between 1981 and 2008. *F. Crop. Res.* v.122.p.225–233,2011.

ZOTARELLI, LINCOLN;SCHOLBERG, JOHANNES M;DUKES, MICHAEL D;MUN, RAFAEL;ICERMAN, J. Tomato yield, biomass accumulation, root distribution and irrigation water use efficiency on a sandy soil, as affected by nitrogen rate and irrigation scheduling. *Science direct*, V.96,p.23-34,2009.

ZHOU, R. et al. Drought stress had a predominant effect over heat stress on three tomato cultivars subjected to combined stress. *BMC Plant Biology*, p. 1–13, 2017.