



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIA AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
CURSO DE AGRONOMIA

MIRELYSIA MEIRELES MOURA

**AVALIAÇÃO DA TEMPERATURA DA PARTE AÉREA ATRAVÉS DA
TERMOGRAFIA NA CULTURA DO TOMATE CEREJA SOB DIFERENTES
ESTRATÉGIAS DE IRRIGAÇÃO DEFICITÁRIA**

FORTALEZA - CE

2023

MIRELYSIA MEIRELES MOURA

AVALIAÇÃO DA TEMPERATURA DA PARTE AÉREA ATRAVÉS DA
TERMOGRAFIA NA CULTURA DO TOMATE CEREJA SOB DIFERENTES
ESTRATÉGIAS DE IRRIGAÇÃO DEFICITÁRIA

Monografia apresentada ao Curso de Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Alexsandro Oliveira da Silva

FORTALEZA

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M888a Moura, Mirelysia Meireles.

Avaliação da temperatura da parte aérea através da termografia na cultura do tomate cereja sob diferentes estratégias de irrigação deficitária / Mirelysia Meireles Moura. – 2023.
46 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Curso de Agronomia, Fortaleza, 2023.

Orientação: Prof. Dr. Alexsandro Oliveira da Silva.

1. Temperatura foliar. 2. Déficit hídrico. 3. Ambiente protegido. I. Título.

CDD 630

MIRELYSIA MEIRELES MOURA

AVALIAÇÃO DA TEMPERATURA DA PARTE AÉREA ATRAVÉS DA
TERMOGRAFIA NA CULTURA DO TOMATE CEREJA - PÊRA

Monografia apresentada ao Curso de Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Aprovada em: 05/07/2023

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Alexsandro Oliveira da Silva (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Daniela Andreska da Silva (Coorientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Rafaela da Silva Arruda
Universidade Federal de Viçosa (UFV)

Maria Vanessa Pires de Souza
Universidade Federal do Ceará

"Confie no Senhor de todo o teu coração e não se apoie em seu próprio entendimento; reconheça-o em todos os teus caminhos, e Ele endireitará as tuas veredas." Provérbios, 3:5-6

A Deus.

Aos meus pais, Mirtes e Elísio.

Às minhas irmãs, Mirelly, Mirlyls e
Amanda.

AGRADECIMENTOS

À Deus por me conceder saúde para abraçar oportunidades e aprender com elas, por me dar coragem para enfrentar adversidades e entender seus propósitos.

Em honra à memória dos meus amados avós, José Onofre e Eliesio, que dedicaram suas vidas à agricultura com responsabilidade e zelo, carregarei para sempre os ensinamentos e a humildade que adquiri com vocês, servindo como alicerce para a profissão que escolhi.

Aos meus pais, Mirtes e Elísio, pelo carinho, cuidado e suporte emocional. Vocês são minha motivação diária e nada seria possível sem o amor e incentivo me proporcionado.

Este TCC é dedicado a vocês, minhas irmãs seu amor, incentivo e presença constantes foram essenciais para chegar até aqui. Sou imensamente grata por tudo o que vocês fizeram por mim, e sei que posso contar com vocês em todos os momentos da minha vida.

À minha tia Eliete por ter sido meu “porto seguro”, todo cuidado e momentos compartilhados guardarei para sempre na memória, sou eternamente grata.

À minha madrastra Nágila por não me deixar duvidar do que posso conquistar com empenho e humildade, sou grata pelas inúmeras lições e palavras de incentivo.

Às minhas avós que possuem força e o amor mais genuíno que já vi, obrigada por sempre me colocar em suas orações e me confortar sempre que precisei.

Aos meus colegas de graduação Matheus, Fernando, Sávio, Gabriel e Karine, agradeço por toda a cumplicidade, risadas compartilhadas, desafios vencidos e momentos preciosos que vivemos juntos ao longo dessa jornada acadêmica.

Ao esporte que se tornou um pilar na minha vida e refúgio nos momentos mais difíceis, agradeço imensamente à alinha e aos amigos que fiz por meio dela.

Aos meus colegas do grupo de pesquisa Daniela, Rafael, Davi e Arthur por toda a ajuda e ensinamentos ao longo do experimento. Foi muito satisfatório trabalhar e conviver com vocês.

Ao PET Agronomia UFC que contribuiu significativamente com minha melhoria pessoal e profissional, jamais esquecerei os anos vividos, dos muitos aprendizados e dos bons amigos que fiz nesse ciclo.

A minha coorientadora Daniela por todo empenho e paciência, desde a realização do experimento ao auxílio que me forneceu na escrita. Obrigada por me ensinar tanto.

Ao meu orientador Prof. Dr. Alexsandro Oliveira da Silva, agradeço por sua confiança, disponibilidade para ajudar e apoio constante ao longo do experimento.

A Rafaela da Silva Arruda e a Maria Vanessa Pires de Souza, por gentilmente terem aceitado o convite de participarem da banca examinadora.

A Universidade Federal do Ceará, pela oportunidade de cursar Agronomia, e de ser ensinada por grandes professores. Neste lugar vivenciei experiências incríveis que contribuíram para meu crescimento em diversos aspectos.

E a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho, meus mais sinceros agradecimentos.

RESUMO

A prática da irrigação é de extrema relevância para o manejo agrícola, que aliado a ao sensoriamento remoto e técnicas como a termografia, têm ganhado enfoque em diversos estudos, visto contribuir na tomada de decisões ao se avaliar o estado hídrico da planta para o fornecimento correto de água, sem que haja desperdício ou falta. Diante do exposto, objetivou-se utilizar a termografia para avaliar a variação de temperatura do tomate cereja pêra vermelho conduzido em ambiente protegido, sob distintas estratégias de irrigação. O experimento foi conduzido em estufa, na Estação Agrometeorológica da Universidade Federal do Ceará. Adotou-se o delineamento experimental de blocos casualizados subdivididos, em esquema fatorial 5x3, referentes às cinco estratégias de irrigação (IP - irrigação plena, DR - irrigação com déficit contínuo, E3 - irrigação com déficit na fase vegetativa, E4 - irrigação com déficit na fase de floração e frutificação, E5 - irrigação com déficit na fase de maturação e colheita), sendo o déficit hídrico aplicado de 50% da evapotranspiração da cultura e os períodos de avaliação aos 30 DAT, 60 DAT e 90 DAT (dias após o transplântio), de acordo com a fenologia da cultura. . As variáveis analisadas foram: Temperatura da planta com auxílio das câmeras Flir e Fluke, índice SPAD com o clorofilômetro, potencial hídrico foliar com o uso da câmara de Scholander e variáveis fisiológicas (fotossíntese líquida, taxa de transpiração, condutância estomática) com a utilização do IRGA. Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo SISVAR e para comparações entre médias de tratamentos foi utilizado o teste F ao nível de 1% e 5% de probabilidade. Houve aumento de valores do índice SPAD e de potencial hídrico que evidenciaram mecanismos de defesa ao déficit hídrico, ambos exibiram resposta significativa apenas aos 60 e 90 dias após o transplântio à estratégia de irrigação. Com isso, a utilização das imagens térmicas demonstrou ser uma ferramenta eficiente ao fornecer médias de temperatura coerentes quanto ao desenvolvimento da cultura ao longo do tempo e em relação ao déficit hídrico. As trocas gasosas sustentaram o comportamento dos fatores observados com as demais análises, especialmente as térmicas.

Palavras-chave: temperatura foliar; déficit hídrico; ambiente protegido.

ABSTRACT

The practice of irrigation is of utmost relevance for agricultural management, which, combined with remote sensing and techniques such as thermography, has gained focus in various studies, as it contributes to decision-making by assessing the plant's water status for the proper supply of water, without waste or deficiency. In light of the above, the objective was to use thermography to evaluate the temperature variation of the red cherry tomato grown in a protected environment, under different irrigation strategies. The experiment was conducted in a greenhouse at the Agrometeorological Station of the Federal University of Ceará. A randomized block design with split plots was adopted, in a 5x3 factorial scheme, referring to five irrigation strategies (IP - full irrigation, DR - continuous deficit irrigation, E3 - deficit irrigation during the vegetative phase, E4 - deficit irrigation during the flowering and fruiting phase, E5 - deficit irrigation during the maturation and harvesting phase), with a water deficit of 50% of the crop's evapotranspiration, and evaluation periods at 30 DAT (days after transplanting), 60 DAT and 90 DAT, according to the crop's phenology. The analyzed variables were: plant temperature using Flir and Fluke cameras, SPAD index using a chlorophyll meter, leaf water potential using a Scholander chamber, and physiological variables (net photosynthesis, transpiration rate, stomatal conductance) using an IRGA (Infrared Gas Analyzer). The results were subjected to analysis of variance using SISVAR, and for comparisons between treatment means, the F-test was used at the 1% and 5% probability levels. There was an increase in SPAD index values and water potential, which indicated defense mechanisms against water deficit. Both variables showed a significant response only at 60 and 90 days after transplanting, according to the irrigation strategy. Thus, the use of thermal images proved to be an efficient tool, providing consistent temperature averages regarding crop development over time and in relation to water deficit. Gas exchange measurements supported the behavior of the observed factors in line with the other analyses, especially the thermal ones.

Keywords: leaf temperature; water deficit; protected environment.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1 Agricultura irrigada	13
2.3 Sensoriamento remoto	15
2.2 Termografia e seus usos na agricultura	16
2.4 A cultura do tomate-cereja	18
3. MATERIAIS E MÉTODOS	20
3.1 Localização do experimento	20
3.2 Implantação do experimento	21
3.3 Delineamento experimental	22
3.4 Condução do experimento	24
3.4.1 Irrigação	24
3.4.2 Adubação	25
3.5 Variáveis analisadas	26
3.5.1 Índice SPAD	26
3.5.2 Potencial Hídrico Foliar (Ψ_w)	26
3.5.3 Trocas gasosas	27
3.5.4 Temperatura média do dossel	28
3.6 Análise estatística	30
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1 Índice SPAD	31
4.2 Potencial Hídrico Foliar (Ψ_w)	33
4.3 Temperatura média do dossel	35
4.4 Trocas gasosas	38
5 CONCLUSÃO	41
REFERÊNCIAS	42

1. INTRODUÇÃO

O tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) é uma das hortaliças mais importantes no Brasil e no mundo (CANÇADO JÚNIOR *et al.*, 2003). A produção deve alcançar 4,0 milhões de toneladas na safra de 2023, de acordo com as estimativas de abril, esse montante é 2,8% maior que a safra do ano de 2022 (IBGE, 2023).

Na região Nordeste, a produção é limitada por diversos fatores negativos à cultura, como elevadas temperaturas, baixa umidade relativa do ar, elevada evapotranspiração, além da irregularidade e distribuição de chuvas que ocasiona escassez de água (SILVA *et al.*, 2020).

Visto que o tomateiro é uma das olerícolas mais exigentes em água, sendo o fruto maduro composto por cerca de 95% de água (SANTANA *et al.*, 2011) a produção e a qualidade nutricional dos frutos são asseguradas pela quantidade e qualidade de água fornecida e pelo seu correto manejo (WANG *et al.*, 2011).

A utilização da água na agricultura é uma preocupação recorrente de profissionais que lidam com a utilização dos recursos naturais, de acordo com a UNESCO, a agricultura é o principal setor consumidor de água no mundo, usufruindo em média de 70% do total de água utilizada (WWP, 2012).

Sendo assim, o sensoriamento remoto tem sido um artifício para embasar a agricultura de precisão, suas técnicas desempenham um papel importante no campo em diagnósticos, como a avaliação da necessidade hídrica das plantas, por exemplo (SHIRATSUCHI *et al.*, 2014).

A termografia, uma das técnicas do sensoriamento remoto, possui potencial para ser utilizada na agricultura, pois permite detectar a radiação infravermelha emitida pelos corpos, realizando uma conversão da mesma em imagens térmicas visíveis (GOMES; LIMA; NETO, 2021).

A utilização desta técnica para refletir o estresse hídrico em plantas foi um método pouco invasivo e representativo incluído nas práticas do sensoriamento remoto (COSTA *et al.*, 2013b). Sabe-se que, a temperatura foliar aumenta à medida que ocorre o fechamento dos estômatos devido ao estresse hídrico que a planta está sendo submetida (ZIA *et al.*, 2012).

Dados de imagem térmica, obtidos de fotografias aéreas de uma cultura com uma câmera térmica digital, provaram ser valioso na programação da irrigação, aumentando a eficiência do uso da água (ZOVKO; BORAS; ŠVAIĆ, 2018).

Tendo em vista que a literatura evidencia a aplicação de câmeras termográficas para avaliação de estresse hídrico em diversas culturas, o trabalho objetivou utilizar a termografia para avaliar a variação de temperatura foliar das plantas de tomate cereja pêra, sob diferentes estratégias de irrigação, em ambiente protegido e sendo avaliadas nas diferentes fases de desenvolvimento da cultura.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Agricultura irrigada

Considera-se irrigação a prática de aplicar água, que não da chuva, diretamente à superfície do solo cultivado com pastos ou culturas, em quantidades e intervalos determinados, com a finalidade de fornecer água às plantas em condições apropriadas ao seu crescimento e produção (IBGE, 2006). A irrigação está presente no dia a dia de todos, seja em campos de futebol e gramados de apartamentos residenciais, seja no consumo de arroz, leguminosas, frutas e legumes, que são produzidos principalmente sob irrigação (ANA, 2020).

Com uma população mundial atualmente estimada em 8 bilhões e consumindo 5.042.865 bilhões de litros de água por ano (WORLDOMETERS, 2023), estima-se que o crescimento da população mundial levará a um aumento da demanda global de alimentos que, de acordo com ONU (2012), em 2050 será superior a 9,5 bilhões.

Sabe-se que, no aspecto mundial, as áreas irrigadas correspondem a menos de 20% da área total cultivada do planeta, no entanto, produzem mais de 40% dos alimentos, fibras e culturas bioenergéticas (FAO, 2017). Levando em conta a relevância da agricultura irrigada para a humanidade, é possível compreender a preocupação com a utilização eficiente do recurso primordial desta atividade, a água, visto ser um bem finito, limitado, e ainda possuir um aumento crescente de sua demanda em diversos setores.

No cenário mundial o Brasil é tido como um dos principais polos produtores de alimentos, fibras e biocombustíveis. Tendo em vista que o país é detentor de aproximadamente 12% das águas doces superficiais do planeta e possui papel significativo na produção agrícola mundial, é fundamental que haja compromisso de

produzir com responsabilidade e dentro dos preceitos de sustentabilidade (FAO, 2017).

A Região Nordeste é uma das cinco regiões do Brasil definidas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 1969. De acordo com o mesmo, em comparação com as outras regiões brasileiras, possui a segunda maior população e o terceiro maior território. Além disso, é a região que detém o maior número de estados, sendo estes, Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe. A mesma, é marcada historicamente por ocorrências de secas, falta de água, problemáticas atreladas a efeitos que se apresentam sob diversas formas, seja pela perda da safra agrícola, pelo aumento do desemprego rural, pela falta de água para as populações e pelas migrações do campo para a cidade, que sempre estiveram presente no semiárido brasileiro (CONTEL, 2014).

No entanto, a realidade atualmente difere significativamente em alguns locais, levando-se em consideração o interior nordestino, por exemplo, no qual os projetos de irrigação impulsionam o avanço de uma moderna agricultura: a fruticultura para exportação e a produção de vinho. Localizada na área em torno de Petrolina, em Pernambuco, Juazeiro, na Bahia, e na área do Agropolo Assu-Mossoró, no Rio Grande do Norte, beneficiada pela grande insolação, mão-de-obra e existência de solos com alta fertilidade mineral (LEVIEN; FIGUEIRÊDO; ARRUDA, 2021).

Embora a agricultura irrigada seja, geralmente, associada a um elevado nível tecnológico, é consenso que a irrigação no Brasil é ainda praticada de forma inadequada, com grande desperdício de água (MANTOVANI *et al.*, 2006; MAROUELLI *et al.*, 2008). Estima-se que, de toda a água captada para fins de irrigação, não mais que 50% sejam efetivamente utilizados pelas plantas (CHRISTOFIDIS, 2004). Especificamente em sistemas de irrigação por superfície, as perdas chegam a percentuais bem maiores.

Segundo Rosegrant *et al.* (2002), ações para melhorar a eficiência do uso de água na agricultura irrigada devem ser focadas nos níveis técnico, gerencial e institucional. De acordo com o autor as melhorias técnicas incluem a adoção de sistemas de irrigação mais avançados, como a aspersão, o gotejamento e a microaspersão, o uso conjunto de águas superficiais e subterrâneas, além do conceito de agricultura de precisão. Em relação às melhorias gerenciais, o mesmo afirma que o estabelecimento de estratégias e manejo de água e monitoramento são essenciais,

de forma que o investimento em maior manutenção e o incremento de equipamentos são demandados.

Uma série de aspectos devem ser levados em consideração com objetivo de se adequar a irrigação para contemplar as necessidades específicas de determinada cultura. O manejo deve ser feito visando fornecer água às plantas em quantidade suficiente para prevenir o estresse hídrico. Sendo assim, é possível favorecer o incremento na produtividade e na qualidade da produção, e paralelamente minimizar o desperdício de água, a lixiviação de nutrientes e a degradação do meio ambiente (MAROUELLI, 2011).

Para que a irrigação seja aplicada de forma sustentável, é imprescindível que a quantidade corresponda ao que se é requisitado pela cultura, evitando excesso ou escassez. Geralmente a quantidade de água que deve ser aplicada por irrigação é a mesma para que o solo necessita para retornar à sua condição de capacidade de campo (MAROUELLI, 2011).

Vale destacar que é possível determiná-la com base na avaliação da disponibilidade atual de água no solo ou na quantidade de água evapotranspirada pela cultura entre duas irrigações consecutivas (MAROUELLI, 2011).

2.3 Sensoriamento remoto

Nos últimos anos, a produção agrícola tem passado por grandes mudanças, de forma que o gerenciamento dos módulos de produção em fazendas atualmente considera a variabilidade espacial do meio agrícola, nesse contexto que o conceito de agricultura de precisão se adequa. (MCKINION *et al.*, 2001; BRANDÃO *et al.*, 2008).

A utilização do sensoriamento remoto na agricultura de precisão vem facilitar o diagnóstico espacializado para subsidiar tomadas de decisão no manejo agrícola (SHIRATSUCHI *et al.*, 2014).

O sensoriamento remoto é uma ciência que visa o desenvolvimento da obtenção de imagens da superfície terrestre, por meio da detecção e medição quantitativa das respostas das interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres (MENESES *et al.*, 2012).

A radiometria espectral é uma das mais importantes áreas do SR, podendo ser efetivada por meio de medidas realizadas em laboratório ou em campo. Ela

identifica a intensidade com que cada material, seja um tipo de solo, de rocha ou de vegetação, reflete a radiação eletromagnética em diferentes comprimentos de onda do espectro (BRANDÃO; BEZERRA; FREIRE; SILVA, 2008).

As imagens de sensores remotos apresentam diferentes características que fazem com que sejam úteis às mais variadas aplicações, desde estudos globais, programas de monitoramento contínuo em grandes áreas, até estudos pontuais em escalas detalhadas como o ambiente urbano ou a agricultura de precisão (SHIRATSUCHI *et al.*, 2014).

O sensoriamento remoto apresenta uma vasta gama de aplicações na agricultura, especialmente relacionadas ao monitoramento, dentre elas, se destacam: estimativa da biomassa e produtividade da cultura, monitoramento de estresse hídrico e do vigor nas plantas e avaliação do estágio fenológico (BRANDÃO *et al.*, 2009).

Nos últimos anos, devido às melhorias nas tecnologias, e redução no custo dos sensores, esta tecnologia ganhou popularidade. Ao fornecer medições de temperatura de solo e de superfícies de cultivo, os sensores térmicos têm potencial para serem usados na aferição do estresse hídrico nas culturas e no solo, bem como, para planejamento e programação da irrigação (KHANAL; FULTON; SHEARER, 2017).

Por exemplo, imagens térmicas são muito utilizadas e acopladas aos VANTs para monitorar o estresse hídrico em diversas culturas, uma vez que esse estresse promove o fechamento estomático, reduzindo a transpiração e o resfriamento evaporativo, causando o aumento da temperatura foliar (GAGO *et al.*, 2015).

Dessa forma pode-se estimar a demanda por água da cultura, com base na relação inversa entre a temperatura da folha e a taxa de transpiração (SARAIVA *et al.*, 2014). Também se viabiliza a exposição gráfica da distribuição espacial da temperatura da superfície da planta, por meio da percepção da radiação infravermelha emitida e refletida pela cultura (COSTA *et al.*, 2015).

Portanto, é possível utilizar todas as informações disponíveis na lavoura para auxiliar no aprimoramento do manejo da água na irrigação, suprir as demandas das culturas e auxiliar no crescimento da produtividade no campo (BOUFLEUER, 2015).

2.2 Termografia e seus usos na agricultura

A radiação térmica emitida pode estar situada nas faixas de ultravioleta, visível, infravermelho e até na faixa de micro-ondas do espectro eletromagnético, em comprimentos que variam entre 760 nm e 1 mm (SANTOS, 2006). A termografia infravermelha (IRT) surgiu como uma tecnologia na década de 1960 desenvolvida para os militares dos Estados Unidos, atualmente é usada em vários campos, incluindo aplicação na lei, engenharia, avaliação predial, na medicina, bem como na área biológica (TATTERSALL, 2016).

De acordo com Haise e Hagan (1967), é possível realizar a avaliação da deficiência de água com base na planta, considerando a folha como o principal órgão da planta a ser avaliado, destacando os seguintes indicadores: mudança da coloração, ângulo de posição das folhas, índice de crescimento, teor absoluto de água, potencial hídrico, temperatura, taxa de transpiração e abertura estomatal. Jones *et al.* (2004) relatou que, de modo geral, os processos de avaliação desses indicadores, com exceção da aparência visual, são muito mais caros, trabalhosos e complexos para uso comercial quando comparados àqueles com base no solo.

Um índice de estresse hídrico da cultura, o Crop Water Stress Index (CWSI) (CWSI), que se baseia na temperatura da folha tem sido usado como indicativo de potencial hídrico foliar (COSTA *et al.*, 2020), levando em consideração a diferença entre a temperatura foliar e do ar e, o déficit de pressão de vapor do ar (JACKSON *et al.*, 1981). Neste caso se encontra a aplicação e importância da termografia, já que a temperatura da folha pode ser medida por meio da termografia infravermelha (JACKSON, 1981; JONES *et al.*, 1997).

O déficit hídrico promove efeitos sobre diversos processos fisiológicos dos vegetais. De forma geral, a condição de estresse hídrico aumenta a resistência difusiva foliar ao vapor de água através do fechamento dos estômatos, com isso ocorre a redução da transpiração e também do suprimento de gás carbônico para a fotossíntese (NOGUEIRA, 1997). De acordo com Burle e Rodrigues (1990), o ajustamento osmótico é o mecanismo fisiológico mais importante para capacitar as plantas a resistir à deficiência hídrica. A condição hídrica das plantas também pode alterar processos fisiológicos como a respiração e o crescimento vegetativo que são determinantes para sua produtividade e sobrevivência (HSIAO, 1973).

Segundo Tanner (1963), a respeito da temperatura foliar, as considerações sobre o balanço de energia mostram que, se a transpiração decresce, mas o balanço de radiação e a estrutura do vento se mantêm os mesmos, o decréscimo da troca de

calor latente resultará num aumento da temperatura da folha. Com isso, a temperatura da folhagem tem sido utilizada como indicador de estresse hídrico, como sinônimo de deficiência hídrica, principalmente para fins de manejo de áreas irrigadas (GONZÁLEZ-DUGO *et al.*, 2014) e para avaliação do monitoramento do estresse (DUFFKOVÁ, 2006).

Uma das formas de se obter informações sobre a temperatura do dossel é a utilização de câmeras digitais capazes de captarem imagens térmicas infravermelhas, imagens essas, que estão altamente correlacionadas com a condutância estomática e com o potencial hídrico do caule (FURLAN, 2017).

Aragão (2019), estudando a utilização de imagens termométricas na estimativa do estado hídrico do meloeiro, observou que o uso de imagens infravermelhas foi eficiente na identificação do estado hídrico dessa cultura, podendo ser empregada como estratégia de manejo da irrigação. Segundo o autor, a produtividade do meloeiro aumentou com a redução do índice térmico e as maiores lâminas de irrigação possibilitam menores temperaturas do dossel. O uso da termografia infravermelha (IRT) para determinar o estresse hídrico é um método sem contato e, portanto, rápido e prático (ZIA *et al.*, 2011).

2.4 A cultura do tomate-cereja

O tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) é uma das hortaliças mais importantes no Brasil e no mundo (CANÇADO JÚNIOR *et al.*, 2003). Em 2021, de acordo com o IBGE (2023), a safra nacional de tomate, envolvendo os segmentos de mesa e processamento, foi estimada em 3.679.160 toneladas. A produção deve alcançar 4,0 milhões de toneladas na safra de 2023, de acordo com as estimativas de abril, esse montante é 2,8% maior que a safra do ano de 2022 (IBGE, 2023).

Segundo Levantamento Sistemático da Produção Agrícola realizado pelo IBGE, até maio de 2023, o estado de Goiás se encontra como maior produtor nacional com 28% de participação na produção. Neste cenário, o estado do Ceará é responsável por 4,8% da produção no país, chegando a 180,8 mil toneladas (IBGE, 2023).

O cultivo de tomate cereja no semiárido do Nordeste brasileiro é limitado pela escassez hídrica (ROQUE *et al.*, 2022). No entanto, além disto, a baixa produção na região Nordeste é associada a diversos fatores negativos à cultura, como elevadas

temperaturas, elevada evapotranspiração, além da irregularidade e distribuição de chuvas que podem ocasionar escassez de água (ZANELLA, 2014).

Os tomates podem ser divididos de acordo com a destinação de sua produção, sendo duas, de mesa ou para a indústria. Dentre os tomates de mesa, tem se destacado no comércio o tomate do tipo cereja (*Lycopersicon esculentum* var. *cerasiforme*). O mesmo foi introduzido no Brasil na década de 1990, tendo como principais características sabor mais adocicado que outras variedades de tomates, tamanho pequeno e arredondado. Destaca-se ainda pela cor vermelha intensa que chama muita atenção pela sua coloração forte, alta firmeza, boa consistência, resistência à doença e pelo valor nutricional (SOUZA *et al.*, 2009; JUNQUEIRA, 2011).

Além disso, segundo Azevedo Filho e Melo (2001), o tomateiro do tipo cereja tem se tornado uma alternativa para grande parte dos agricultores, tendo em vista que, possui boa rusticidade, tolerância a pragas, alto valor de mercado, maior produtividade e aceitabilidade crescente por parte dos consumidores.

A qualidade do fruto tomate cereja (Figura 1) depende das características físico-químicas que influenciam a sua atratividade ao consumidor, sendo estes indicativos de sua qualidade organoléptica e nutricional das quais a pectina total, pectina solúvel, relação sólidos solúveis/acidez, acidez titulável, vitamina C e açúcares redutores são importantes indicadores (CARVALHO *et al.*, 2005; CARDOSO *et al.*, 2006).

Visto que o tomateiro é uma das olerícolas mais exigentes em água, sendo o fruto maduro composto por cerca de 95% de água (SANTANA *et al.*, 2011) a qualidade de frutos de tomate pode sofrer influência de fatores como irrigação, técnicas de cultivo empregado ou combinação entre eles (SANTIAGO *et al.*, 2018). A produção e a qualidade nutricional dos frutos são asseguradas pela quantidade e qualidade de água fornecida e pelo seu correto manejo (WANG *et al.*, 2011).

De acordo com Soares *et al.* (2011), a irrigação controlada é importante para a produtividade desta cultura, já que é sensível tanto à irrigação excessiva quanto insuficiente, por ocasionarem problemas de ordem fisiológica e de crescimento. Sendo deste modo, necessário definir o nível satisfatório de água a ser fornecida, a fim de se obter um bom desenvolvimento do tomate e conseqüente, qualidade dos frutos comercializados.

Figura 01. Tomate cereja vermelho na fase de colheita.



Foto: Autora, 2023.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Localização do experimento

O experimento foi conduzido em ambiente protegido na Estação Meteorológica do Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, Ceará, cujas coordenadas geográficas são 3°74' de latitude S e 38° 58' de longitude W. De acordo com a classificação de Köppen (1918) o clima local é do tipo Aw'.

Figura 02. Localização da área experimental na Estação Meteorológica da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará, 2023.

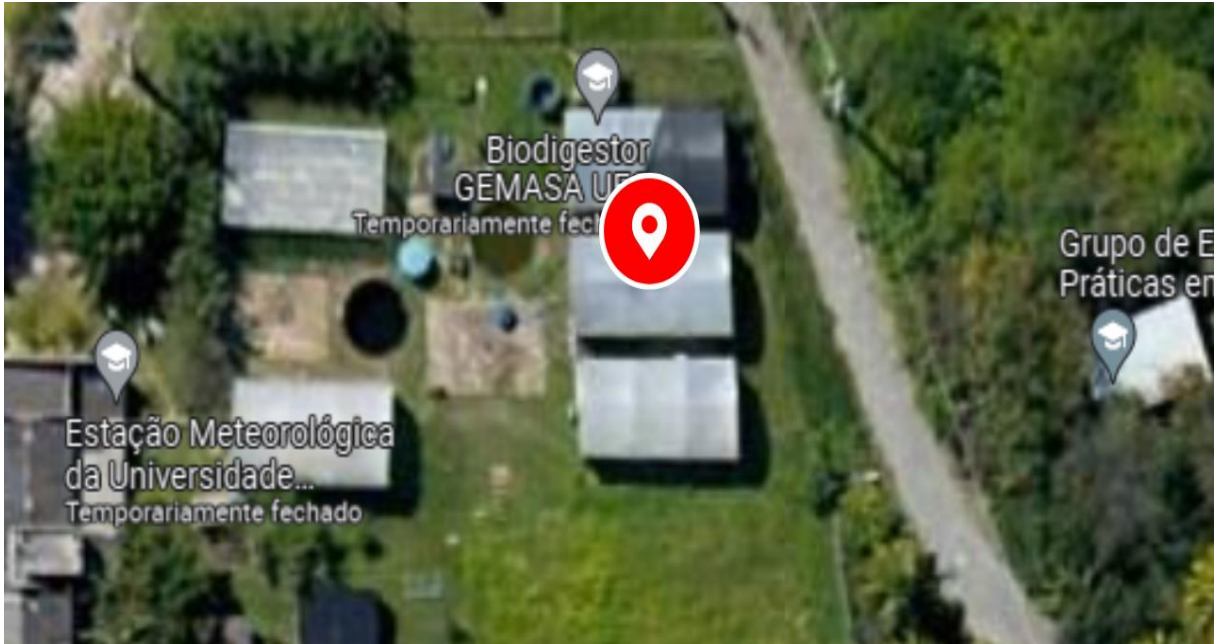


Foto: Google Maps, 2023.

3.2 Implantação do experimento

A cultivar utilizada foi o Tomate Cereja Pêra Vermelho da empresa TOP SEED®, linha blueline. Esta é específica para climas quentes, sendo a germinação da semente datada cerca de 7 a 10 dias após sementeira, possui crescimento indeterminado com frutos de 35 x 25mm de tamanho e peso médio de 10-20g, apresentando ciclo médio de 90 a 100 dias após a sementeira.

A sementeira foi realizada em duas bandejas de polietileno pretas compostas por 128 células de 25 mL, cada. O substrato utilizado era composto por 70% de húmus de minhoca e 30% de vermiculita. O desbaste das mudas foi realizado aos 10 dias após sementeira, deixando apenas uma planta por célula visando o seu completo desenvolvimento.

Aos 22 dias após a sementeira realizou-se o transplante das mudas para vasos de 11L preenchidos com manta e brita, contendo em seu interior solo arenoso, sendo este classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo de textura franco-arenosa.

Figura 03. Mudanças de tomateiro durante o transplante.



Fonte: Silva, 2023

3.3 Delineamento experimental

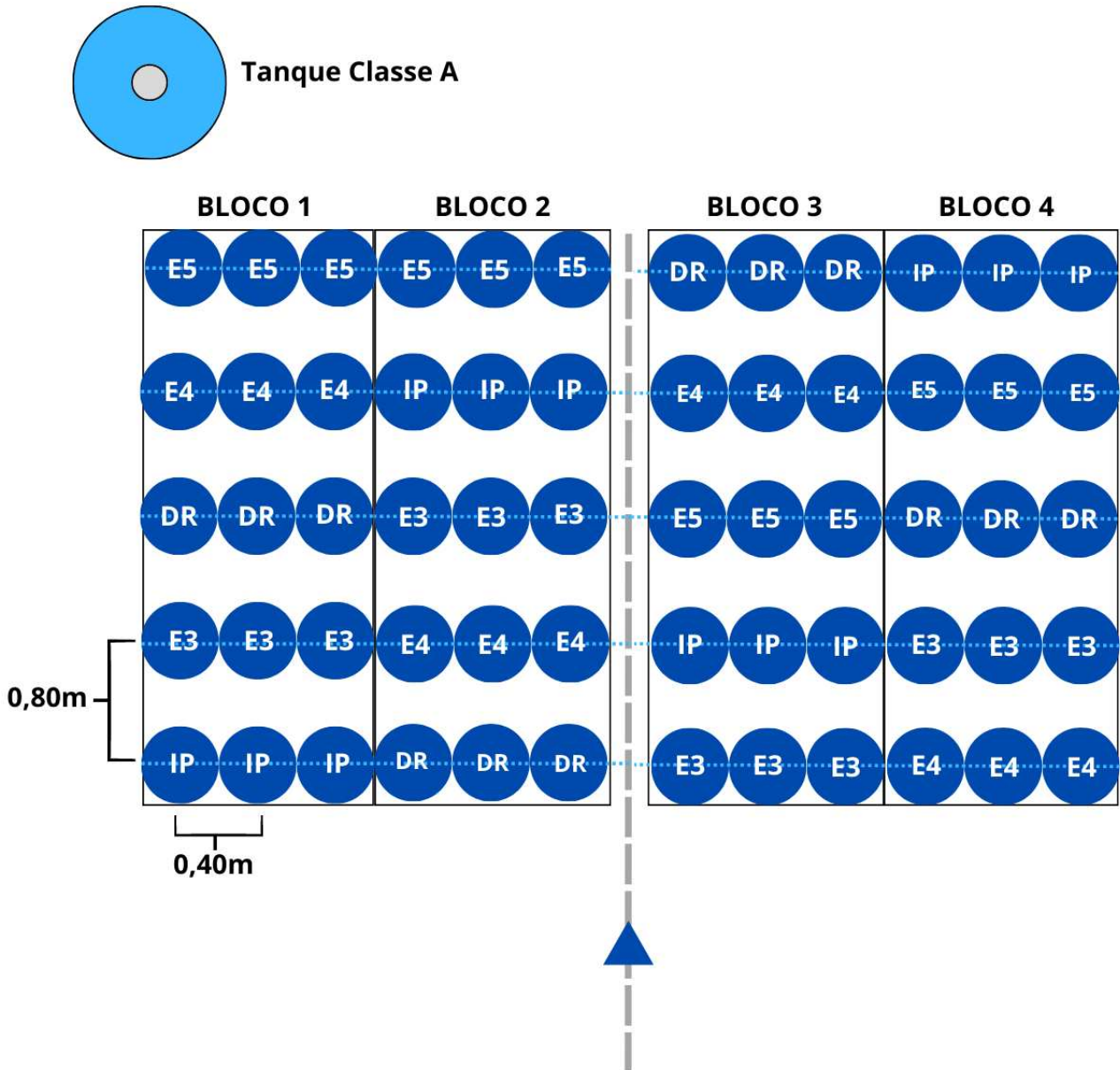
O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados (DBC) com esquema fatorial 5 x 3, referentes às cinco estratégias de irrigação conforme a fase fenológica da cultura (IP - irrigação plena, DR - irrigação com déficit regular, E3 - irrigação com déficit na fase vegetativa, E4 - irrigação com déficit na fase de floração e frutificação, E5 - irrigação com déficit na fase de maturação e colheita).

Para o segundo fator, adotou-se o período das avaliações, realizadas aos 30, 60 e 90 DAT (dias após o transplante), definido em relação ao desenvolvimento fenológico da cultura. Foram dispostas três plantas por parcela experimental, em 4 blocos, totalizando 20 parcelas. Foi estabelecido déficit de 50% da evapotranspiração da cultura.

A disposição dos vasos na casa de vegetação se deu de forma que o espaçamento entre plantas foi de 0,40 m e entre linhas de 0,80 m, apresentando 6 vasos na linha e 10 vasos na coluna.

O sistema de irrigação está ampliado pois haviam vasos destinados a avaliações não relacionadas com o presente trabalho.

Figura 04. Delineamento experimental implementado na casa de vegetação.



IP - Irrigação Plena (100% ET_{cloc})
 DR - Déficit Regular (50% ET_{cloc})
 E3 - Déficit na fase vegetativa
 E4 - Déficit na fase de florescimento
 E5 - Déficit na fase de maturação

— Linha Principal
 Linhas laterais
 ▲ Filtro de disco

Entrada/Saída

Fonte: Autora, 2023. IP, DR, E3, E4 e E5.

3.4 Condução do experimento

3.4.1 Irrigação

A irrigação das plantas foi realizada diariamente, através do sistema de irrigação localizada tipo fita gotejadora com emissores espaçados a 0,40m, sendo a vazão de 1,6L/h⁻¹, pressão de serviço de 20 mca, com tubos de polietilenos de 16 mm, apresentando um emissor por planta. Nos primeiros 10 dias após o transplântio (DAT) todos os tratamentos receberam a mesma irrigação, a fim de garantir o estabelecimento uniforme das plantas.

A quantidade de água aplicada foi determinada mediante a estimativa de reposição das perdas decorrentes da evapotranspiração da cultura (ET_c), diariamente. A estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) foi feita a partir de leituras diretas da evaporação diária medida por meio de um tanque evaporímetro Classe “A”, instalado na estufa próximo aos vasos. A água do tanque foi renovada regularmente para eliminar as impurezas, conforme Doorenbos e Pruitt (1997).

O cálculo da evapotranspiração de referência (ET_o) foi realizado, de acordo com a metodologia proposto por Allen *et al.* (1998) (Eq. 1), adotou-se o consumo hídrico do tomateiro, em função do período de desenvolvimento. Em relação a evapotranspiração da cultura ET_c, considerando recomendações de Evangelista e Pereira (2003), os coeficientes da cultura “K_c’ (Eq. 2) foram determinados nas diferentes fases fenológicas.

Eq. 1:

$$ET_o = ECA * K_p$$

Em que:

ET_o - Evapotranspiração de referência (mm dia⁻¹);

ECA - Evaporação medida no tanque classe A (mm dia⁻¹);

K_p - Coeficiente do tanque (adimensional, sendo equivalente a 1).

Eq. 2:

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_o}$$

Em que:

ET_c = evapotranspiração da cultura, em mm dia⁻¹.

K_c = Coeficiente da cultura.

. Para o cálculo do tempo de irrigação foi utilizada K_L , constante Conforme Keller (1978), equivalente a 1, baseada na área do vaso de $0,25 \text{ m}^2$. Vale destacar que as irrigações foram realizadas diariamente considerando o déficit hídrico estabelecido como 50% da evapotranspiração da cultura (ET_c) nas estratégias submetidas a déficit (DR, E3, E4, E5) em suas respectivas fases.

Figura 05. Tanque Classe A instalado na área experimental.



Fonte: Silva, 2023

3.4.2 Adubação

A adubação foi realizada semanalmente, levando-se em consideração as recomendações para a cultura, foram aplicadas quantidades e componentes similares para todos os vasos do experimento. O manejo era realizado durante a tarde, minutos antes do horário predefinido para irrigação.

Antes do transplante realizou-se a adubação mineral de fundação com micronutrientes (100%), seguido do parcelamento semanal dos macronutrientes, com exceção do fósforo, no qual teve sua aplicação parcelada em apenas 3 vezes (66%+ 33%+ 33%), por conta de sua imobilidade no solo. Além disso, foi realizada adubação foliar semanalmente, com solução contendo cálcio e boro, após abertura dos botões florais.

3.5 Variáveis analisadas

3.5.1 Índice SPAD

O índice SPAD foi obtido utilizando-se um clorofilômetro portátil SPAD-502, as leituras foram realizadas entre às 8 e 12 horas da manhã, sendo realizadas em folhas do terço médio da planta, sendo posteriormente obtida a média geral das diferentes partes da folha.

Figura 06. SPAD para coleta de unidades de clorofila das plantas de tomate cereja



Fonte: Silva, 2023

3.5.2 Potencial Hídrico Foliar (Ψ_w)

Para aferir os resultados, uma folha do terço médio da planta, completamente expandida, foi destacada e levada imediatamente para a bomba de Scholander. No momento em que se observa a seiva saindo pelo pecíolo, é possível

constatar que a pressão aferida pelo manômetro é equivalente a mesma do potencial de pressão da seiva do xilema da folha.

Dessa forma, o potencial hídrico da planta foi estabelecido com o emprego da bomba de Scholander (Soil Moisture model 3000), sendo as medições realizadas às 8:30 da manhã no local do experimento. Utilizou-se uma folha por planta de cada tratamento e foi obtida a média do potencial hídrico representado em MPa.

Figura 07. Bomba de Scholander sendo utilizada para aferição do potencial hídrico das folhas.



Fonte: Silva, 2023

3.5.3 Trocas gasosas

Os dados foram obtidos mensalmente, tendo início aos 30 DAT (dias após o transplante), com o auxílio de um Analisador de Gás no Infravermelho portátil - IRGA, (modelo LCi, ADC, BioScientific, Inglaterra). Sendo escolhidas as folhas mais jovens inteiramente expandidas de cada planta, as medições foram realizadas no

horário da manhã (8:00 às 12:00 horas). Desta forma, foi possível determinar as seguintes variáveis:

- Fotossíntese líquida (A) em $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$;
- Taxa de transpiração (E) em $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$;
- Condutância estomática (g_s) em $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

Figura 08. Utilização do IRGA para obtenção das variáveis relacionadas às trocas gasosas.



Fonte: Silva, 2023

3.5.4 Temperatura média do dossel

Para o aferimento dos dados térmicos, foram utilizadas as câmeras de visão frontal infravermelha: Flir E4 e Fluke TiS10, ambas com 4800 pixels de resolução. Foram admitidas para análise uma repetição de cada tratamento, totalizando 10 plantas por bloco. A primeira coleta foi realizada 30 dias após o transplântio (DAT), as demais foram feitas, em seguida, com intervalo de um mês entre ambas (60 e 90 DAT).

Essas coletas, realizadas mensalmente, foram ordenadas em três fases diferentes de desenvolvimento da cultura do tomate cereja (Fase I - crescimento, Fase II - florescimento e frutificação, Fase III - maturação e colheita). As mesmas foram feitas no mesmo horário, entre 11h e 12h da manhã, quando haviam se completado 24 horas de suspensão da irrigação.

Os pontos de detecção da temperatura foram realizados em toda a sua extensão aérea e na região foliar, com auxílio de tecidos brancos para fornecer destaque à superfície de interesse, tendo em vista o adensamento da cultura.

Após a obtenção das imagens térmicas, as mesmas foram analisadas com o uso de softwares dos provedores de câmeras infravermelho, sendo estes o FLIR Tools e o Fluke Connect. Após o upload das imagens foram realizadas a marcação de três pontos para indicar a temperatura, de forma a se obter dados representativos na mesma. As imagens termográficas são compostas por uma matriz de pontos denominados pixels. Cada pixel corresponde, em princípio, a um sensor do detector da câmera infravermelha. Nos computadores e sensoriamento das imagens digitais, a informação de cores é especificada por um código composto de três parâmetros denominado RGB (Red, Green and Blue), para Vermelho, Verde e Azul (VERATTI, 2015).

Sendo assim, através dos softwares utilizados para a leitura das imagens foi possível obter numerações utilizadas na análise estatística, sendo estas: temperaturas mínimas, temperaturas máximas e temperaturas médias da imagem selecionada.

Figura 09. Avaliação com a câmera Fluke (A); Avaliação com a câmera Flir (B);
Marcação dos pontos no software e obtenção de temperaturas (C).



Fotos: Autora, 2023.

Ao detectar diferenças de temperatura entre as folhas das plantas e o restante do ambiente, ele cria padrões de cores com base na quantidade de radiação infravermelha que cada objeto emite. Neste caso, a temperatura aumenta de acordo com a mudança de cor escura para mais clara (OLIVEIRA JÚNIOR, 2019).

3.6 Análise estatística

As imagens térmicas de infravermelho foram tratadas com o uso de softwares dos provedores de câmeras infravermelho, como o FLIR Tools e o Fluke

Connect, fornecendo temperaturas mínimas, máximas e médias da imagem analisada.

Para a análise, todos os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), sendo que os dados coletados foram submetidos ao teste de Tukey, a 5% e 1% de probabilidade, através do software estatístico SISVAR. Os gráficos foram desenvolvidos com o auxílio do SigmaPlot 12.5.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Índice SPAD

A tabela 1 apresenta o resumo da análise de variância (ANOVA), para as variáveis: índice SPAD, potencial hídrico e temperatura média do dossel (°C). As variáveis índice SPAD e temperatura média do dossel exibiram diferença significativa a 5% ($p < 0.05$) de probabilidade pelo teste F com relação a interação entre as estratégias de irrigação e dias após o transplântio (A x B). Somente para a variável potencial hídrico o fator DAT foi significativo a 1% de probabilidade ($p < 0.01$) para a interação dos fatores (Tabela 01).

Tabela 01 – Resumo das Análises de Variância (ANOVA) utilizando o quadrado médio referente à variável índice SPAD, Potencial Hídrico e Temperatura Média do Dossel, em função de diferentes estratégias de irrigação e dias após o transplântio.

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio		
		SPAD	Potencial hídrico	Temperatura média (°C)
Bloco	3	35.401904*	2.565778*	20.377455*
Estratégias (A)	4	64.460227**	1.125000 ^{ns}	6.026404 ^{ns}
Resíduo (A)		9.768039	0.545222	2.507740
Dias (B)	2	70.336815**	354.556167**	42.075995**
Estratégias X Dias	8	13.419915*	10.195750**	4.534049*
Resíduo (B)		5.285428	1.357833	1.816289
Total	59			
CV (%)A		7.50	13.84	4.70
CV (%) B		5.51	21.85	4.00

Legenda: ^{ns} – não significativo; (*) significativo 5% de probabilidade; (**) significativo 1% de probabilidade pelo teste F*. CV – coeficiente de variação. Fonte: autora (2023).

Com relação ao índice SPAD, analisando as estratégias de irrigação, se observou valores significativos aos 60 e 90 DAT (Figura 09). Sendo que os valores

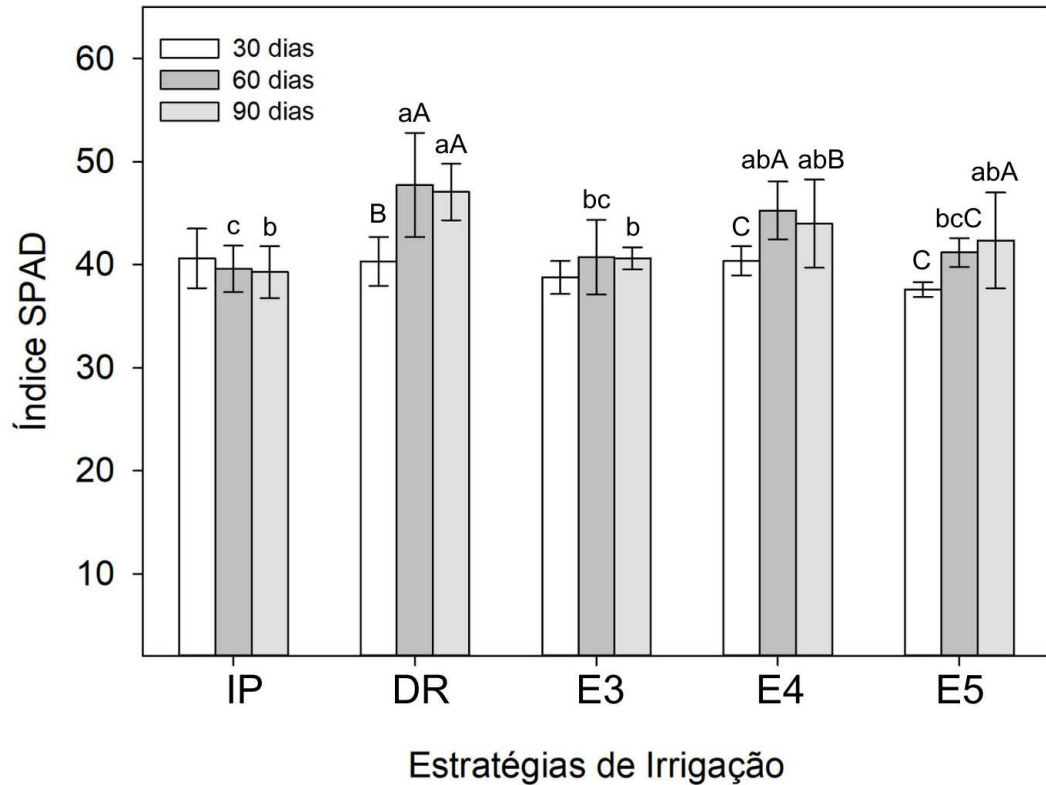
aferidos aos 60 DAT, se mostraram maiores nas plantas submetidas ao tratamento DR, com média 17,12% maior que a aferida nas plantas submetidas ao tratamento IP que obteve a menor média de unidade SPAD. Aos 90 DAT, observou-se comportamento semelhante, com maiores valores obtidos com SPAD para as amostras da DR e menor média observada na IP. Neste período quantificou-se média de DR 16,52% maior que na IP (Figura 09).

As plantas submetidas às menores lâminas de irrigação, ou seja, com menor disponibilidade de água (DR), obtiveram um aumento no índice SPAD (Figura 10). Resultado semelhante foi encontrado por Santos *et al.* (2013) em sua pesquisa sobre gramíneas submetidas ao estresse hídrico, na qual os menores valores de índice SPAD foram obtidos em 100% da capacidade de campo. Ademais, Rodrigues *et al.* (2020) também observou as maiores leituras de índice SPAD nos menores níveis de disponibilidade hídrica ao estudar a *Brachiaria brizantha* cv. Marandu.

Sendo assim, é possível que o aumento dos valores obtidos com o SPAD de acordo com a menor disponibilidade de água, tenha ocorrido como forma de reação da planta ao estresse hídrico a que foi submetida. O ajuste osmótico se dá pelo acúmulo de compostos orgânicos osmoticamente ativos como os carboidratos e proteínas solúveis, aminoácidos, prolina entre outras substâncias, que tem função osmorreguladora e protetora (SANTOS JÚNIOR *et al.*, 2020).

Tal comportamento também foi observado por Magalhães *et al.* (2016) que avaliou o efeito do estresse hídrico no sorgo, constatando que plantas submetidas ao maior estresse apresentaram maior teor de nitrogênio, enquanto plantas que sofreram estresse moderado ou leve não tiveram efeito significativo.

Figura 10. Índice SPAD de plantas de tomate-cereja, cultivar Pêra, submetidas às diferentes estratégias de irrigação, analisadas aos 30, 60 e 90 DAT.



Fonte: autora (2023).

Médias seguidas de letras minúsculas diferem entre si para as estratégias de irrigação para as avaliações realizadas no mesmo DAT e letras maiúsculas diferem entre si avaliando os DAT referente na mesma estratégia de irrigação pelo Teste de Tukey à 1% ($p < 0.01$) ou 5% ($p < 0.05$) de probabilidade.

4.2 Potencial Hídrico Foliar (Ψ_w)

Através da análise do potencial hídrico foliar (Ψ_w) constatou-se a significância das estratégias ao 60 e 90 DAT (Figura 11). De forma que aos 60 DAT, o potencial hídrico apresentou maior média na DR, sendo 50% maior que a média mínima obtida na E3, que por sua vez, recebeu irrigação com déficit na fase vegetativa (Figura 11).

No que se refere às estratégias, todas obtiveram médias significativas ao analisar o potencial hídrico. As estratégias IP, E3, E4 e E5 apresentaram a maior média de potencial hídrico aos 90 DAT, enquanto aos 30 DAT exibiram as menores médias. Já a estratégia DP, contou com a maior média expressa aos 60 DAT e aos 30 DAT a menor média sendo o valor de potencial hídrico 77,14% inferior.

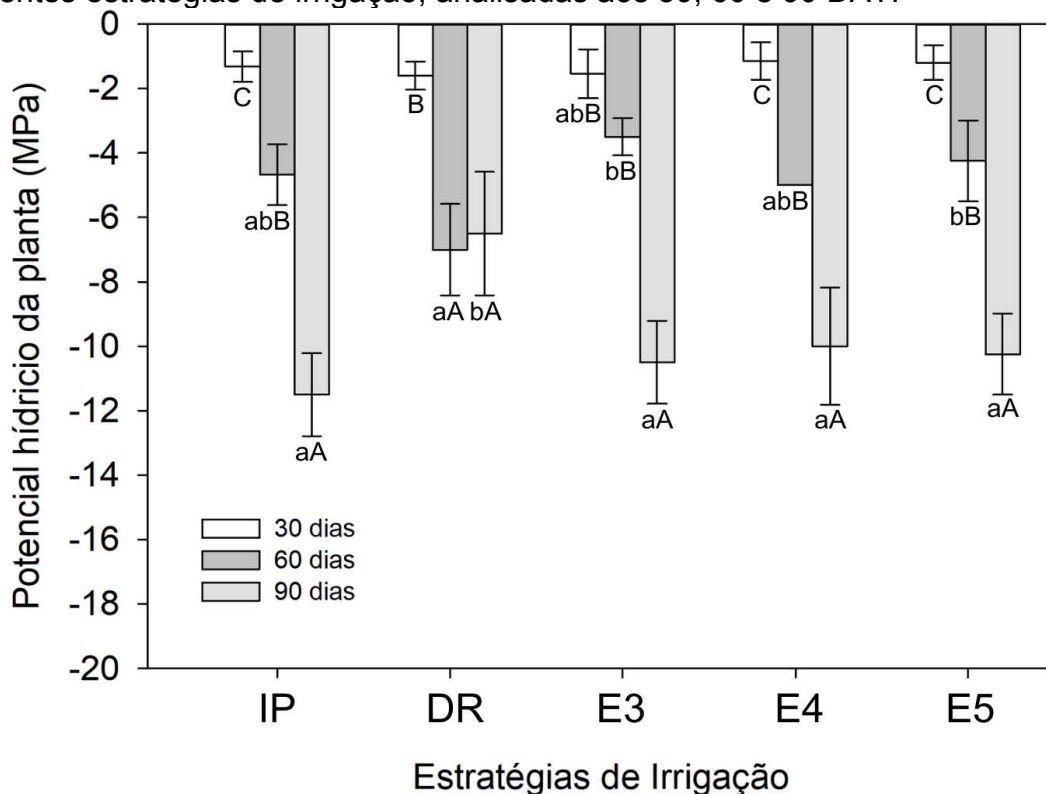
Como pode ser observado na Figura 10, a DR apresentou o menor valor de potencial hídrico ao 60 DAT, sendo este o tratamento mantido em déficit hídrico contínuo. Da mesma forma, constatou Magalhães *et al.* (2016) quando aferiu o menor potencial hídrico no genótipo de sorgo que submetido a estresse severo, comparado

ao tratamento irrigado. Vale destacar ainda que Nascimento *et al.* (2011) relatou o mesmo comportamento ao avaliar genótipos de feijão-caupi, que sob estresse hídrico também expressaram redução dos valores de potencial hídrico.

Em contrapartida é observado um aumento nos valores de potencial hídrico na DR aos 90 DAT, diferindo das demais estratégias que continuaram em declínio. Sendo assim, é possível supor que seja um mecanismo de resistência da planta ao déficit hídrico, pois conforme mencionado por Doss *et al.* (2009), à medida que o tempo avança, as plantas que se adaptaram a períodos de estiagem implementam mecanismos morfológicos e fisiológicos que lhes permitem sobreviver à seca, como o ajuste da parede celular, aumento da densidade e profundidade das raízes.

Outro elemento que fortalece essa teoria é o material escrito por Lisar *et al.* (2012), que afirma que o acúmulo de solutos compatíveis pode ser utilizado como um indicativo da resistência ao estresse hídrico. Isso é corroborado pelos valores do índice SPAD observados na DR, que sugerem um possível acúmulo de solutos nas folhas (Figura 10).

Figura 11. Potencial hídrico de plantas de tomate-cereja, cultivar Pêra, submetidas às diferentes estratégias de irrigação, analisadas aos 30, 60 e 90 DAT.



Fonte: autora (2023).

Médias seguidas de letras minúsculas diferem entre si para as estratégias de irrigação para as avaliações realizadas no mesmo DAT e letras maiúsculas diferem entre si avaliando os DAT referente na mesma estratégia de irrigação pelo Teste de Tukey à 1% ($p < 0.01$) ou 5% ($p < 0.05$) de probabilidade.

4.3 Temperatura média do dossel

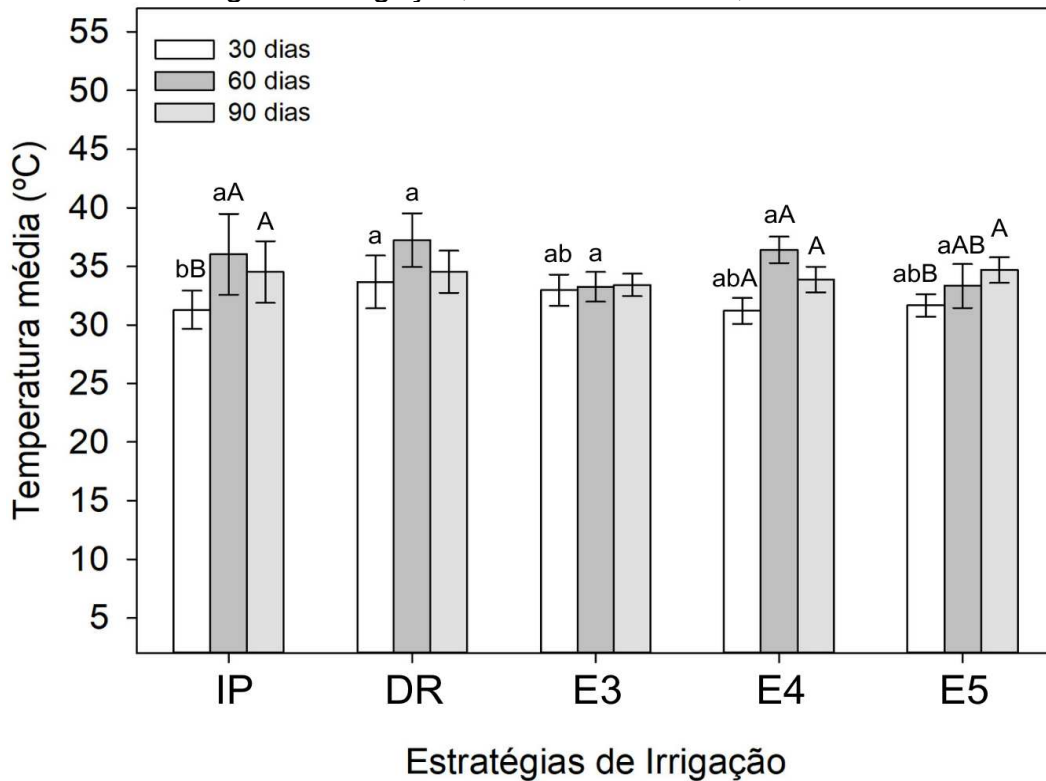
Quanto à temperatura média analisada, aos 30 e 60 DAT obtiveram-se médias significativas. De maneira que aos 30 DAT a maior temperatura média foi obtida na DR, sendo 9,5% maior que a aferida na IP. Aos 60 DAT não houve diferença significativa entres as médias analisadas (Figura 12). A IP, registrou aos 30 DAT temperaturas 12,55% menores que as aferidas aos 60 e 90 DAT. A E4 apresentou significância aos 30, 60, 90 DAT, mas não apresentou diferença entre as médias de temperatura média. No caso da E5, aos 90 DAT, a temperatura média foi 9,5% maior que a obtida aos 30 DAT (Figura 12).

O aumento significativo da temperatura média na E5 aos 90 DAT, se deve ao déficit hídrico promovido neste período, o que pode ser explicado, segundo ZIA *et al.* (2012), pela diminuição da dissipação de energia e pelo aumento da temperatura do dossel devido ao fechamento dos estômatos da planta durante o estresse hídrico. O que também justifica as menores temperaturas aos 30 DAT em todas as estratégias analisadas. Semelhantemente, Aragão *et al.* (2019) observaram ao estudar o estado hídrico do meloeiro, as menores temperaturas do dossel em tratamentos com as maiores lâminas de irrigação, utilizando também avaliações termográficas.

A mesma constatação é válida em relação a E4, na qual observou-se um aumento da temperatura média aos 60 DAT, sendo esta a estratégia submetida ao déficit neste período, estágio de floração e frutificação da planta. Além disso, é possível observar nas imagens térmicas a mudança de coloração referente a este momento e respectiva resposta da planta (Figura 13).

É possível aferir ainda que, o comportamento observado na E4 referente ao decréscimo da temperatura média aos 90 DAT foi coerente, tendo em vista que este tratamento foi submetido ao déficit hídrico aos 60 DAT, mas posteriormente foi sujeita à irrigação regular. Sendo assim, houve uma menor disposição de água nos períodos mais críticos com relação ao estresse hídrico no solo para a cultura do tomateiro, sendo estes o florescimento e o enchimento dos frutos de acordo com Doorenbos e Pruitt *et al.* (1997). Vale destacar ainda, que Aragão *et al.* (2019) constatou comportamento similar, pois houve uma diminuição na temperatura do dossel após os 45 DAT, ou seja, até o período de maior exigência hídrica da cultura.

Figura 12. Temperatura média do dossel das plantas de tomate-cereja, submetidas às diferentes estratégias de irrigação, analisadas aos 30, 60 e 90 DAT.



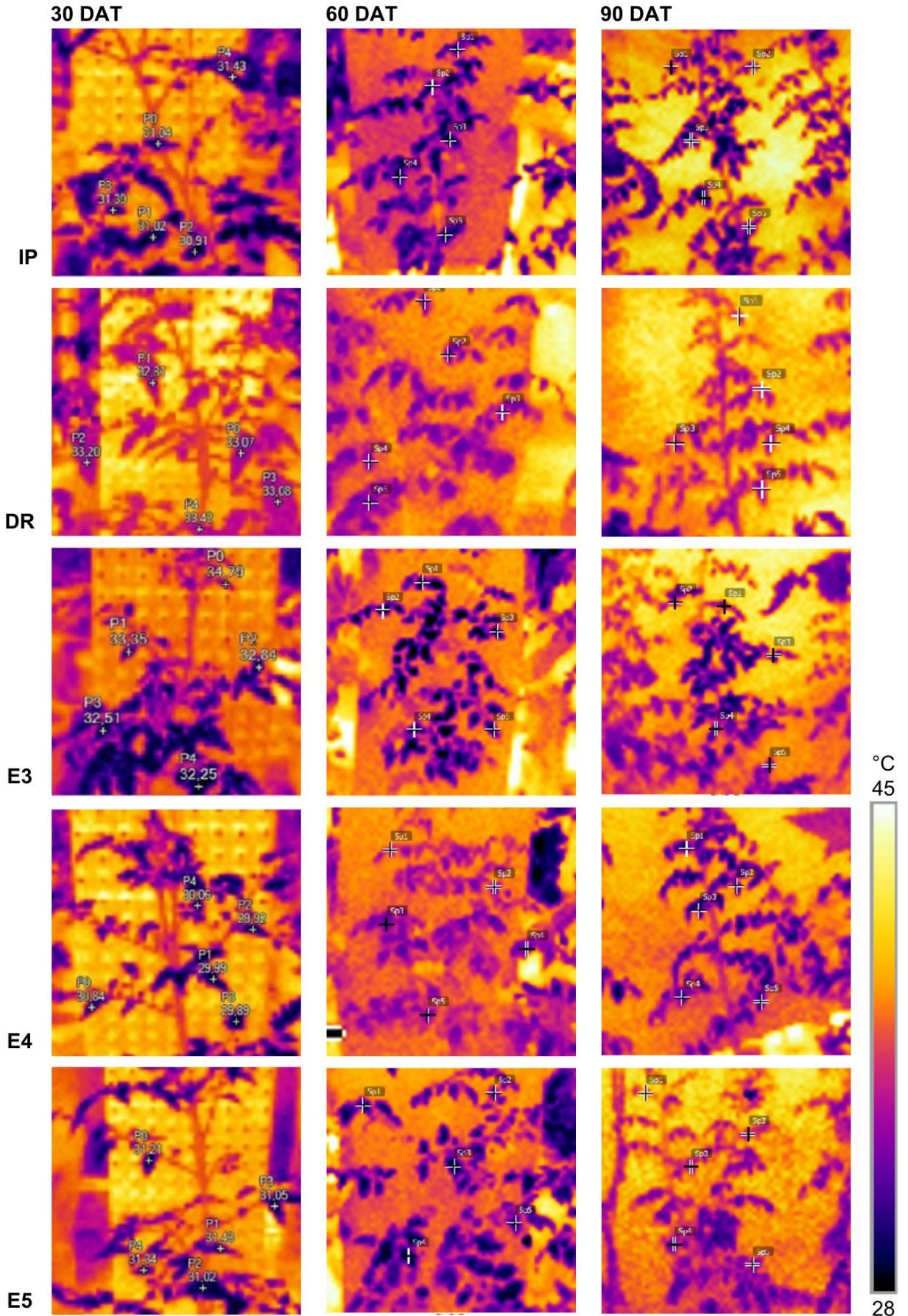
Fonte: autora (2023).

Médias seguidas de letras minúsculas diferem entre si para as estratégias de irrigação para as avaliações realizadas no mesmo DAT e letras maiúsculas diferem entre si avaliando os DAT referente na mesma estratégia de irrigação pelo Teste de Tukey à 1% ($p < 0.01$) ou 5% ($p < 0.05$) de probabilidade.

A termografia possibilita, além da quantificação da temperatura, a visualização da sua variação nas plantas. A coloração muda de acordo com a temperatura aferida, a temperatura aumenta de acordo com a mudança de colorações escuras para claras, como pode ser observado na Figura 13.

Vale destacar o tratamento submetido a estratégia DR, pois ao longo das avaliações apresentou cores características de altas temperaturas, sendo coerente com a limitação de água que estava sendo imposta, e também, com as médias aferidas pelas câmeras termográficas.

Figura 13. Imagens térmicas das plantas de tomate-cereja submetidas às diferentes estratégias de irrigação, analisadas aos 30, 60 e 90 DAT. O espectro de coloração está de acordo com a leitura das imagens pelos softwares FLIR Tools FLIR Tools e o Fluke Connect.



Fonte: Autora (2023).

4.4 Trocas gasosas

As variáveis de trocas gasosas (A , E , g_s) não foram influenciadas pela interação entre as estratégias de irrigação e os dias após o transplântio (DAT). Houve apenas efeito isolado dos dias após o transplântio sobre as variáveis de trocas gasosas (A , E , g_s), ao nível de 1% e 5% pelo Teste F (Tabela 02).

Em relação ao fator DAT as variáveis E e g_s apresentaram-se significativas a 5% de probabilidade ($p < 0.05$), enquanto a variável A se mostrou significativa a 1% de probabilidade ($p < 0.01$), ambas pelo teste F (Tabela 02).

Tabela 02 – Resumo das Análises de Variância (ANOVA) utilizando o quadrado médio referente à variável fotossíntese líquida (A), taxa de transpiração (E) e condutância estomática (g_s).

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio		
		A	E	g_s
Bloco	3	1.401009 ^{ns}	1.135547 ^{ns}	3.620073 ^{ns}
Estratégias (A)	4	0.484950 ^{ns}	3.589887 ^{ns}	0.878294 ^{ns}
Dias (B)	2	57.834945*	33.093422**	43.405595**
Estratégias X Dias	8	11.524220 ^{ns}	1.321767 ^{ns}	0.951355 ^{ns}
Resíduo (A)		5.065114	1.146545	1.489596
Resíduo (B)		6.767885	1.254774	1.611110
Total	59			
CV (%) (A)	-	34.31	33.74	111.00
CV (%) (B)	-	39.66	35.30	115.44

Legenda: ns – não significativo; (*) significativo 5% de probabilidade; (**) significativo 1% de probabilidade pelo teste F*; CV – coeficiente de variação.

A fotossíntese líquida (A) diferiu estatisticamente para os dias após o transplântio (Tabela 03). Aos 30 DAT a fotossíntese líquida foi 34,7% superior quando comparada aos 60 DAT (Tabela 03). A mesma resposta foi observada para a taxa de transpiração (E), na qual aos 30 DAT a E foi superior em 42,9% quando comparada aos 60 DAT (Tabela 04). Com relação à condutância estomática (g_s), aos 30 DAT a g_s das plantas de tomate foi 93,6% superior em relação aos valores obtidos aos 90 DAT (Tabela 05).

De forma geral observou-se maiores taxas fotossintéticas e transpiratórias na fase de crescimento da cultura (30 DAT), não expressando níveis insatisfatórios. Possivelmente nesse período as plantas não estavam sendo afetadas ainda pelo déficit hídrico, não estando em condições de estresse hídrico. De acordo com Campelo (2015), do ponto de vista fisiológico, os vegetais sob estresse exibem várias

respostas diferentes. Essas respostas abrangem desde modificações nas trocas gasosas até alterações na taxa de assimilação líquida de CO₂, resultando em consequências diretas para o processo de fotossíntese.

Mesmo sem alterações nas variáveis de trocas gasosas para as estratégias de irrigação, observa-se as maiores médias aos 30 DAT. Os menores valores para a g_s aos 60 e 90 DAT sugerem que as plantas nessas fases apresentaram ajustes no controle da perda de água, conseqüentemente, reduzindo as trocas gasosas. A redução da g_s , ocasiona um decréscimo na concentração intercelular e assimilação de CO₂ (JACINTO JÚNIOR *et al.*, 2019).

Sabe-se que em situações de estresse hídrico as plantas geralmente fecham parcial ou completamente os estômatos objetivando reduzir a perda de água por transpiração. Conforme destacado por Lisar *et al.* (2012), a diminuição da umidade do solo tem efeitos abrangentes nas plantas, afetando não apenas suas relações hídricas, como a redução do teor de água, do turgor e da água total, mas também influenciando o fechamento dos estômatos. Esse fechamento estomático resulta na redução da transpiração, aumento da temperatura no dossel e restrição das taxas de assimilação de carbono.

Conforme mencionado por Taiz e Zeiger *et al.* (2004), quando ocorre o fechamento dos estômatos devido ao déficit de água no solo, a radiação incidente na folha pode resultar em um aumento da temperatura foliar, alcançando níveis que podem ser prejudiciais ao metabolismo da planta.

Tabela 03 – Fotossíntese líquida (A) de plantas de tomate-cereja, cultivar Pêra, submetidas às diferentes estratégias de irrigação, analisadas aos 30, 60 e 90 DAT.

Estratégias de Irrigação	A ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)			Médias
	Dias após o transplântio			
	30	60	90	
1	5,80 ±1,59	8,46 ±3,71	5,52 ±1,80	6,59
2	8,66 ±0,91	5,34 ±2,40	5,12 ±1,76	6,37
3	9,55 ±0,13	5,63 ±1,58	4,97 ±3,95	6,72
4	9,48 ±0,43	4,45 ±4,67	6,44 ±2,66	6,79
5	9,14 ±0,01	3,95 ±2,25	5,93 ±2,80	6,34
Médias	8,52 a	5,56 b	5,59 b	

Médias seguidas de letras minúsculas diferem entre si para as estratégias de irrigação para as avaliações realizadas no mesmo DAT e letras maiúsculas diferem entre si avaliando os DAT referente na mesma estratégia de irrigação pelo Teste de Tukey à 1% ($p < 0.01$) ou 5% ($p < 0.05$) de probabilidade.

Tabela 04 – Taxa de transpiração (E) de plantas de tomate-cereja, cultivar Pêra, submetidas às diferentes estratégias de irrigação, analisadas aos 30, 60 e 90 DAT.

Estratégias de Irrigação	E (mmol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹)			Médias
	Dias após o transplântio			
	30	60	90	
1	4,40 ±0,54	3,16 ±1,39	2,21 ±1,20	3,25
2	3,81 ±1,17	1,01 ±0,26	2,53 ±0,85	2,45
3	4,40 ±1,78	2,44 ±0,34	1,74 ±0,57	2,86
4	5,04 ±0,86	2,13 ±0,77	3,10 ±1,60	3,42
5	5,65 ±0,86	3,11 ±1,75	2,89 ±1,08	3,88
Médias	4,66 a	2,37 b	2,49 b	

Médias seguidas de letras minúsculas diferem entre si para as estratégias de irrigação para as avaliações realizadas no mesmo DAT e letras maiúsculas diferem entre si avaliando os DAT referente na mesma estratégia de irrigação pelo Teste de Tukey à 1% ($p < 0.01$) ou 5% ($p < 0.05$) de probabilidade.

Tabela 05 – Condutância estomática (g_s) de plantas de tomate-cereja, cultivar Pêra, submetidas às diferentes estratégias de irrigação, analisadas aos 30, 60 e 90 DAT.

Estratégias de Irrigação	g_s (mol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹)			Médias
	Dias após o transplântio			
	30	60	90	
1	2,45 ±2,21	0,71 ±0,22	0,22 ±0,29	1,13
2	2,13 ±2,16	0,07 ±0,02	0,14 ±0,05	0,78
3	3,08 ±2,53	0,20 ±0,05	0,09 ±0,06	1,12
4	2,28 ±2,25	0,35 ±0,33	0,27 ±0,24	0,96
5	4,06 ±2,07	0,30 ±0,27	0,17 ±0,08	1,51
Médias	2,80 a	0,32 b	0,18 b	

Médias seguidas de letras minúsculas diferem entre si para as estratégias de irrigação para as avaliações realizadas no mesmo DAT e letras maiúsculas diferem entre si avaliando os DAT referente na mesma estratégia de irrigação pelo Teste de Tukey à 1% ($p < 0.01$) ou 5% ($p < 0.05$) de probabilidade.

5 CONCLUSÃO

O índice SPAD, o potencial hídrico e as trocas gasosas refletiram o comportamento observado por meio da termografia, com base principalmente na regulação estomatal realizada pelas plantas em situações de estresse.

A utilização de imagens termográficas demonstrou ser uma ferramenta eficiente de manejo da irrigação, pois o aumento das médias térmicas foi representativo em relação ao déficit hídrico que as plantas estavam sendo submetidas, de acordo com a estratégia de irrigação.

Da mesma forma, a termografia foi compatível com as fases de desenvolvimento da cultura, refletindo padrões esperados de variações da temperatura nas avaliações realizadas aos 30, 60 e 90 DAT.

É válido destacar também a visualização da variação de temperatura, possível com a implementação desta tecnologia que captura imagens térmicas.

REFERÊNCIAS

- ALENCAR, Cristina Miranda de. **Consumo de água do maracujazeiro amarelo (*Passiflora edulis* Sims var *flavicarpa* Deg)**. 2000. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- ANA. Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada. 2017.
- ARAGÃO, Márcio Facundo. Utilização de imagens termométricas na estimativa do estado hídrico do meloeiro cultivado em solo com e sem cobertura vegetal. 2019.
- AZEVEDO FILHO, J. A.; MELO, A. M. T. Avaliação de tomate silvestre do tipo cereja. **Horticultura Brasileira**, v. 19, n. ssuppl, 2001.
- BESSA, Rebecca Tavares. Termografia na avaliação da temperatura de mudas de *Tagetes erecta* cultivadas em diferentes ambientes com e sem hidrotentor. 2021.
- BOUFLEUER, Rafael. **Uma arquitetura de sensoriamento remoto sensível ao contexto para irrigação**. 2015. 74 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Informática, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.
- BRANDÃO, Z. N. Estimativa da produtividade e estado nutricional da cultura do algodão irrigado via técnicas de sensoriamento remoto. 2009. 152 f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais)-Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2009.
- BRANDÃO, Z. N.; BEZERRA, M. V. C.; FREIRE, E. C.; SILVA, B. B. Agricultura de precisão para gerenciamento do algodão. In: AZEVÊDO, D. M. P.; BELTRÃO, N. E. M. **O agronegócio do algodão no Brasil**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. 1309 p. cap. 20. v. 2.
- BRASIL. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. (org.). **Em abril, IBGE prevê safra de 302,1 milhões de toneladas para 2023**. 2023. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/36842-em-abril-ibge-preve-safra-de-302-1-milhoes-de-toneladas-para-2023>. Acesso em: 30 jun. 2023.
- BURLE, Marília Lobo; RODRIGUES, Gustavo Costa. Relações hídricas internas da soja sob déficit hídrico em condições de campo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 25, n. 6, p. 905-913, 1990.
- CAMPELO, David de Holanda et al. Trocas gasosas e eficiência do fotossistema II em plantas adultas de seis espécies florestais em função do suprimento de água no solo. **Revista Árvore**, v. 39, p. 973-983, 2015.
- CANÇADO JUNIOR, F. L. et al. Aspectos econômicos da produção e comercialização do tomate para mesa. **Informe Agropecuário**, v. 24, n. 219, p. 7-18, 2003.

CARDOSO, Suane Coutinho et al. Qualidade de frutos de tomateiro com e sem enxertia. **Bragantia**, v. 65, p. 269-274, 2006.

CARVALHO, LA de et al. Caracterização físico-química de híbridos de tomate de crescimento indeterminado em função do espaçamento e número de ramos por planta. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 11, n. 3, p. 295-298, 2005.

CHRISTOFIDIS, D. Como obter a sustentabilidade dos recursos hídricos na agricultura irrigada. **Irrigação & Tecnologia Moderna, Brasília-DF**, v. 64, p. 30-31, 2004.

CONTEL, Fabio Betioli. As divisões regionais do IBGE no século XX (1942, 1970 e 1990). **Terra Brasilis (Nova Série). Revista da Rede Brasileira de História da Geografia e Geografia Histórica**, n. 3, 2014.

COSTA, J. Miguel; GARCÍA-TEJERO, Iván F.; CHAVES, Manuela. O uso da termografia na agricultura moderna. **APH**, v. 113, p. 30-34, 2013.

COSTA, Jefferson De Oliveira et al. Canopy thermal response to water deficit of coffee plants under drip irrigation. **Irrigation and drainage**, v. 69, n. 3, p. 472-482, 2020.

COSTA, Joaquim Miguel et al. Thermal imaging to phenotype traditional maize landraces for drought tolerance. **Comunicata Scientiae**, v. 6, n. 3, p. 334-343, 2015.

DA SILVA FIUZA, Danila et al. AVALIAÇÃO DE CONDUTÂNCIA ESTOMÁTICA E TEMPERATURA FOLIAR EM VARIEDADES DE MANDIOCA SUBMETIDOS A DIFERENTES REGIMES CLIMÁTICOS. **Revista Raízes e Amidos Tropicais**, v. 5, p. 632-637, 2009.

DE SANTANA, Marcio José et al. Coeficientes de cultura para o tomateiro irrigado. **Irriga**, v. 16, n. 1, p. 11-20, 2011.

DESABRIGADAS, Subestações de Alta Tensão. **TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA**. 2006. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Itajubá.

DOS ANJOS SOARES, Lauriane Almeida et al. Taxas de crescimento do tomateiro sob lâminas de irrigação em ambiente protegido. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 6, n. 2, p. 41, 2011.

DOS SANTOS, Marcos et al. Desenvolvimento de um Protótipo para Armazenamento Hídrico: Contribuições da Engenharia para o uso Racional da Água na Agricultura.

DOSS, Basil D.; ASHLEY, D. A.; BENNETT, O. L. Effect of Soil Moisture Regime on Root Distribution of Warm Season Forage Species 1. **Agronomy Journal**, v. 52, n. 10, p. 569-572, 1960.

DUFFKOVÁ, Renata. Difference in canopy and air temperature as an indicator of grassland water stress. **Soil and Water Research (Prague, Print)**, v. 1, 2006.

- EVANGELISTA A. W. P; PEREIRA G. M. 2003. Avaliação de dois tipos de evaporímetros na estimativa da demanda evaporativa do ar (ET) no interior de casa de vegetação, em Lavras-MG. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 27, p. 1348-1353.
- FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2013). World Land and Water prospects. Rome: Land and Water Development Division.
- FONTES, Paulo Cezar Rezende. **Diagnóstico do estado nutricional das plantas**. UFV, 2006.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION [FAO]. Agricultura irrigada sustentável no Brasil: identificação de áreas prioritárias. Brasília, DF: FAO, 2017.
- FURLAN, Diego Albani. Coeficiente de estresse hídrico utilizando termografia infravermelha-estudos em cafeeiro conilon (*Coffea canephora*). 2017.
- GAGO, Jorge et al. UAVs challenge to assess water stress for sustainable agriculture. **Agricultural water management**, v. 153, p. 9-19, 2015.
- GOMES, Francisco; LIMA, Joilson; NETO, Luis Pinheiro. APLICAÇÕES DA TERMOGRAFIA NA AGRICULTURA. **Agrarian Academy**, v. 8, n. 16, 2021.
- GONZALEZ-DUGO, Victoria; ZARCO-TEJADA, Pablo J.; FERERES, E. Applicability and limitations of using the crop water stress index as an indicator of water deficits in citrus orchards. **Agricultural and forest meteorology**, v. 198, p. 94-104, 2014.
- HAISE, Howard R.; HAGAN, Robert M. Soil, plant, and evaporative measurements as criteria for scheduling irrigation. **Irrigation of agricultural lands**, v. 11, p. 575-604, 1967.
- HANSEN, Larissa Leite Momoli. **Potencial hídrico em plantas de soja sob diferentes níveis de compactação**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- HSIAO, Theodore C. Plant responses to water stress. **Annual review of plant physiology**, v. 24, n. 1, p. 519-570, 1973.
- IBGE. (org.). **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9201-levantamento-sistemico-da-producao-agricola.html?=&t=resultados>. Acesso em: 30 jun. 2023.
- IBGE. Tomate. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/tomate/br>. Acesso em: 29 jun. 2023.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE. Brasil, grandes regiões e unidades da Federação. **Censo Agropecuário**, p. 1-777, 2006.
- JACINTO JÚNIOR, Silvio Gentil et al. Respostas fisiológicas de genótipos de fava (*Phaseolus lunatus* L.) submetidas ao estresse hídrico cultivadas no Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 34, p. 413-422, 2019.

JACKSON, Ray D. et al. Canopy temperature as a crop water stress indicator. **Water resources research**, v. 17, n. 4, p. 1133-1138, 19IA81.

JONES, H. G.; AIKMAN, D.; MCBURNEY, T. A. Improvements to infra-red thermometry for irrigation scheduling in humid climates. In: **II International Symposium on Irrigation of Horticultural Crops 449**. 1996. p. 259-266, 1997.

JONES, Hamlyn G. Irrigation scheduling: advantages and pitfalls of plant-based methods. **Journal of experimental botany**, v. 55, n. 407, p. 2427-2436, 2004.

JUNQUEIRA, A. H.; PEETZ, M. S.; ONODA, S. M. Um modelo de inovação na gestão da cadeia de produção e distribuição de hortaliças diferenciadas no Brasil. **ESPM, Central de cases. Disponível em: http://www.organicnet.com.br/wp-content/uploads/sweet_grape.pdf**, 2011.

KHANAL, Sami; FULTON, John; SHEARER, Scott. An overview of current and potential applications of thermal remote sensing in precision agriculture. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 139, p. 22-32, 2017.

LEVIEN, Sérgio Luiz Aguilar; FIGUEIRÊDO, Vladimir Batista; DE ARRUDA, Luiz Eduardo Vieira. Panorama da atual área de agricultura irrigada no Brasil.

LISAR, S. Y. et al. Causes, effects and responses. **Water stress**, v. 25, n. 1, p. 33, 2012.

MAGALHÃES, Paulo César et al. Efeitos de Diferentes níveis de estresse hídrico na caracterização ecofisiológica de genótipos de sorgo. In: **Embrapa Milho e Sorgo- Artigo em anais de congresso (ALICE). In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO**. 2016.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. Irrigação: princípios e práticas. **Viçosa: UFV**, 2006.

MARQUELLI, Waldir A.; SILVA, WL de C.; DA SILVA, H. R. **Irrigação por aspersão em hortaliças: qualidade da água, aspectos do sistema e método prático de manejo**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008., 2008.

MARQUELLI, Waldir Aparecido et al. Manejo da água de irrigação. 2011.

MCKINION, J. M.; JENKINS, J. N.; AKINS, D.; TURNER, S. B.; WILLERS, J. L.; JALLAS, E.; WHISLER, F. D. Analysis of a precision agriculture approach to cotton production. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 32, n. 3, p. 213- 218, 2001. [http://dx.doi.org/10.1016/S0168-1699\(01\)00166-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0168-1699(01)00166-1)

MENESES, Paulo Roberto; ALMEIDA, T. de. Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto. **Universidade de Brasília, Brasília**, 2012.

MONARDES, Hernán. 1. IMPORTANCIA ECONÓMICA DEL CULTIVO EN LA REGIÓN, PAÍS Y EL MUNDO. **Manual de cultivo de tomate (Lycopersicon esculentum Mill.)**, p. 5, 2009.

NASCIMENTO, Sebastião P. do et al. Tolerância ao déficit hídrico em genótipos de feijão-caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, p. 853-860, 2011.

NOGUEIRA, RJMC. Efeitos do déficit hídrico no comportamento fisiológico de quatro cultivares de cana-de-açúcar (*Saccharum* sp.) adubadas ou não, com nitrogênio mineral. **Recife, UFRPE**, 1987.

OLIVEIRA JÚNIOR, Júlio de Anderson et al. Dispositivo para captura e processamento de imagens térmicas para detecção de estresse hídrico. 2019.

OLIVEIRA, Alexsandra D. de; FERNANDES, Edemo J.; RODRIGUES, Teresinha de JD. Condutância estomática como indicador de estresse hídrico em feijão. **Engenharia Agrícola**, v. 25, p. 86-95, 2005.

RÊGO JÚNIOR, Francisco Ernesto de Andrade. **A Influência do Estresse Hídrico e Salino no Crescimento e Relações Hídricas de Plantas de *Vigna Unguiculata***. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso. Brasil.

RODRIGUES, Natália Fernandes et al. Uso do SPAD para monitoramento da atividade fotossintética de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu submetida a estresse hídrico. 2021.

ROQUE, Iara Almeida et al. FITOMASSAS, TROCAS GASOSAS E PRODUÇÃO DO TOMATE CEREJA CULTIVADO SOB ÁGUAS SALINAS E ADUBAÇÃO NITROGENADA. **Revista Caatinga**, v. 35, n. 3, p. 686-696, 2022.

ROSEGRANT, Mark W.; CAI, Ximing; CLINE, Sarah A. **Global Water Outlook to 2025: Averting an Imending Crisis**. 2002.

SANTIAGO, Edgo Jackson Pinto et al. Qualidade do tomate cereja cultivado sob lâminas de irrigação em ambiente protegido e campo aberto. **Agrometeoros**, v. 26, n. 1, 2018.

SANTOS JUNIOR, José Laurindo; DA COSTA OLIVEIRA, Maria Fernanda; DA SILVA, Elizamar Ciríaco. Acúmulo de solutos orgânicos em mudas de *Ceiba glaziovii* (Kutze) Kum. em resposta à seca intermitente. *Scientia Plena*, v. 16, n. 1, 2020.

SANTOS, Antonio de Paula dos et al. DEFICIT HÍDRICO INDUZIDO EM DIFERENTES FASES FENOLÓGICAS NO CULTIVO DO TOMATE INDUSTRIAL. 2019.

SANTOS, Claudia et al. Gramíneas tropicais submetidas à estresse hídrico. **ENCICLOPEDIA BIOSFERA**, v. 9, n. 17, 2013.

SANTOS, L. Termografia infravermelha em subestações de alta tensão desabrigadas. 2006. 129 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Energia) - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá.

SARAIVA, Gustavo Francisco; ANDRADE, Regina; SOUZA, Gustavo. Termografia por infravermelho como ferramenta de diagnóstico precoce de estresse hídrico severo em soja. **Agrarian Academy**, v. 1, n. 02, 2014.

SARAIVA, Gustavo Francisco; ANDRADE, Regina; SOUZA, Gustavo. Termografia por infravermelho como ferramenta de diagnóstico precoce de estresse hídrico severo em soja. **Agrarian Academy**, v. 1, n. 02, 2014.

SHIRATSUCHI, Luciano Shozo et al. Sensoriamento Remoto: conceitos básicos e aplicações na Agricultura de Precisão. **Bernardi, ACC; Naime, JM; Resende, AV; Basso, LH**, p. 58-73, 2014.

SILVA W.L.C.; PEREIRA, W. Cultivo do tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) para industrialização. Brasília: EMBRAPA-CNPQ, 1994. 36 p. (Instruções Técnicas, 12)

SILVA, Idelvan José da et al. Morfofisiologia e produtividade de genótipos de feijão vigna sob estresse salino variando as fases fenológicas. 2020.

SOUZA, A. P. et al. Utilização da evapotranspiração para o manejo da irrigação. **Manejo da Irrigação: um guia prático para uso racional da água. FEPAF/Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu**, p. 48-63, 2009.

TANNER, CcB. Energy balance approach to evapotranspiration from crops. **Soil Science Society of America Journal**, v. 24, n. 1, p. 1-9, 1960.

TATTERSALL, Glenn J. Infrared thermography: A non-invasive window into thermal physiology. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology**, v. 202, p. 78-98, 2016.

UN DESA – United Nations, Department of Economic and Social Affairs. (2009). World population prospects: the 2008 revision, highlights. New York.

VERATTI, A. B. ICON Tecnologia Termográfica, 2015.

WANG, Feng et al. Determination of comprehensive quality index for tomato and its response to different irrigation treatments. **Agricultural Water Management**, v. 98, n. 8, p. 1228-1238, 2011.

WORLDOMETER. World Population. Em: Worldometer [Online]. Disponível em: <https://www.worldometers.info/pt/>. Acesso em: 29 jun. 2023.

WWAP. World Water Assessment Programme. The United Nations World Water Development Report 4: Managing Water under Uncertainty and Risk. Paris: UNESCO, 2012.

ZANELLA, Maria Elisa. Considerações sobre o clima e os recursos hídricos do semiárido nordestino. **Caderno Prudentino de Geografia**, v. 1, n. 36, p. 126-142, 2014.

ZIA, Shamaila et al. Assessing crop water stress of winter wheat by thermography under different irrigation regimes in North China Plain. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 5, n. 3, p. 24-34, 2012.

ZIA, Shamaila et al. Monitoring physiological responses to water stress in two maize varieties by infrared thermography. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 4, n. 3, p. 7-15, 2011.

ZOVKO, M.; BORAS, I.; ŠVAIĆ, S. Assessing plant water status from infrared thermography for irrigation management. In: **Proceedings of the 14th Quantitative Infrared Thermography Conference, Berlin, Germany**. 2018. p. 25-29