

IRRIGAÇÃO NA AEROPONIA COM BASE EM DÉFICIT DE PRESSÃO DE VAPOR ACUMULADO

ANGEL ANDRES ALEJO OSUNA¹, ANTONIO PIRES DE CAMARGO² ADRIANO FERREIRA COSTA ARAUJO³

¹ mestre em engenharia agrícola, facultade.de engenhariaAgrícola FEAGRI/UNICAMP,Campinas-SP, a234562@dac.unicamp.br

² Eng. Agrônomo Prof. Doutor, facultad de engenharia Agrícola FEAGRI /UNICAMP; Campinas SP

³ Eng. Agrônomo Mestrando, facultad de engenharia Agrícola FEAGRI /UNICAMP; Campinas SP

Apresentado no
LII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2023
18 a 21 de outubro de 2023 – Ribeirão Preto - SP, Brasil

RESUMO: Buscou-se investigar se o Déficit de Pressão de Vapor acumulado (DPVacum) serve como critério para manejo da irrigação em cultivos aeropônicos em estufa. Foram avaliados 4 níveis de DPVacum e seus efeitos no desenvolvimento da alface. Foram efetuadas comparações entre as condições de cultivo em aeroponia com sistema NFT, adotando um delineamento inteiramente casualizado, com 5 tratamentos: T1: sistema ligado 24 h dia-1 (DPVacum = 0 kPa.h); T2: irrigar quando DPVacum = 2,0 kPa.h; T3: irrigar quando DPVacum = 3,5 kPa.h; T4: irrigar quando DPVacum = 5,0 kPa.h; T5: cultivo no sistema NFT ligado 24 h dia-1. Na data da colheita foram realizadas medições de massa fresca da planta; número de folhas por planta; área de projeção do dossel; diâmetro da planta; área lateral de raízes; clorofila; acidez total titulável (ATT); sólidos solúveis totais (SST); e, índice de maturidade. Os melhores resultados de desenvolvimento das plantas foram observados no sistema que foi operado 24 h dia-1 (T1 e T5). Verificou-se que os níveis de DPVacum acima de 2,0 kPa.h, para o cultivo de alface em aeroponia, ocasionam déficit hídrico significativo e condições desfavoráveis para o desenvolvimento das plantas.

PALAVRAS-CHAVE: aeroponia, déficit de pressão de vapor, irrigação.

IRRIGATION IN AEROPONICA BASED TO ACCUMULATED VAPOR PRESSURE DEFICIT

ABSTRACT: We sought to investigate whether the accumulated vapor pressure deficit (VPDacum) serves as a criterion for making decisions about irrigation management in aeroponic greenhouse crops. Four levels of VPDacum were evaluated and their effects on the development of lettuce grown in aeroponics. Comparisons were made between aeroponic growing conditions with NFT system, adopting a completely randomized design, with 5 treatments: T1: system on 24 h day-1 (VPDacum = 0 kPa.h); T2: irrigate when VPDacum = 2.0 kPa.h; T3: irrigate when VPDacum = 3.5 kPa.h; T4: irrigate when VPDacum = 5.0 kPa. h; T5: cultivation in the NFT system connected 24 h day-1. On the harvest date, measurements were taken of plant fresh mass; number of leaves per plant; canopy projection area; plant diameter; lateral root area; chlorophyll; total titratable acidity (ATT); total soluble solids (TSS); and, maturity index. The best results of plant development were observed in the system that was operated 24 h day-1 (T1 and T5). It was found that DPVacum levels above 2.0 kPa.h, for lettuce cultivation in aeroponics, cause significant water deficit and unfavorable conditions for plant development.

KEYWORDS: aeroponic. vapor pressure deficit, irrigation

INTRODUÇÃO: Devido ao rápido crescimento da população mundial junto ao efeito das mudanças climáticas, a demanda por água doce vem aumentando constantemente evidenciando limitações de recursos hídricos e riscos à segurança alimentar (ABIOYE et al., 2020; DEJONGE et al., 2015). A disponibilidade de água é limitada principalmente para a produção de alimentos, sendo a agricultura responsável por pelo menos 70% do consumo deste recurso. Considerando a limitação e as disputas pelo uso de recursos hídricos, agricultores precisam adotar práticas responsáveis quanto ao uso da água para a produção de alimentos (FAO, 2021). Portanto, é vital que a agricultura incorpore práticas que permitam uso racional e eficiente da água para irrigação (PADRÓN, 2021).

No momento da irrigação deve-se procurar fornecer a quantidade requerida pela planta para evitar o déficit hídrico, minimizando o desperdício de água e garantindo a produtividade e qualidade da produção (RASSINI, 2011) Uma prática essencial na agricultura é a aplicação artificial de água por meio de um sistema de irrigação manejado de modo que se aplique a quantidade de água necessária para garantir o desenvolvimento da cultura ABIOYE et al., 2020; BAYONA- et al, 2017; PADRÓN, 2021)

Observa-se um crescente interesse na produção de alimentos em sistemas de cultivo sem solo em ambiente protegido, os quais destacam-se em relação aos sistemas convencionais pela eficiência no uso de recursos. A aeroponia é um dos sistemas de cultivo sem solo na qual o sistema radicular das plantas fica suspenso no ar e recebe a solução nutritiva que é pulverizada no entorno das raízes (WEATHERS; ZOBEL, 1992). Não há critérios claros para a tomada de decisão sobre o intervalo entre irrigações, nem quanto à duração dos eventos de pulverização.

Foram formuladas as seguintes hipóteses (1) Com base no Déficit de Pressão de Vapor (*DPV*) acumulado, juntamente com a medição de umidade relativa e temperatura do ar no ambiente é possível definir o intervalo adequado entre as irrigações na aeroponia (2) Existem condições ideais para o desenvolvimento de alface cultivada em aeroponia sendo que o efeito do estresse hídrico gerado por os diferentes intervalos entre irrigações pode ser determinado pela relação entre o desenvolvimento da parte aérea e da raiz da planta

O objetivo deste trabalho foi avaliar níveis de déficit de pressão de vapor acumulado e seus respectivos efeitos no desenvolvimento e qualidade da alface cultivada em aeroponia. Além disso, buscou-se identificar se o déficit de vapor acumulado serve como critério para tomada de decisões sobre o manejo da irrigação em cultivos aeropônicos em ambiente protegido

MATERIAL E MÉTODOS: Os experimentos foram conduzidos em uma estufa agrícola localizada no campo experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI/UNICAMP). A estufa agrícola apresenta cobertura plástica em polietileno, tela antiafídica nas laterais, abertura zenital e dimensões 6,40 x 18,00 x 2,20 m (Largura x Comprimento x Altura do pé direito). Além disso, sobre a área de cultivo instalou-se tela termorefletora interna de 50% com a intenção de evitar temperaturas excessivas. As cortinas plásticas existentes nas laterais da estufa foram mantidas abertas durante todos os experimentos.

Foram construídos quatro módulos para aeroponia e um módulo no sistema NFT. Todos os módulos tinham capacidade para 15 plantas cultivadas. A solução nutritiva foi pulverizada por 10 bicos marca Jacto, modelo JCI 80 0050 (roxo), a pressão de operação de 105 PSI (1034,2 kPa), obtendo-se a vazão de 0,31 L min⁻¹ (18,6 L h⁻¹). O módulo de NFT possuía tubos opacos de 75 mm de diâmetro contendo bomba e reservatório separados da aeroponia, embora a solução nutritiva fosse a mesma.

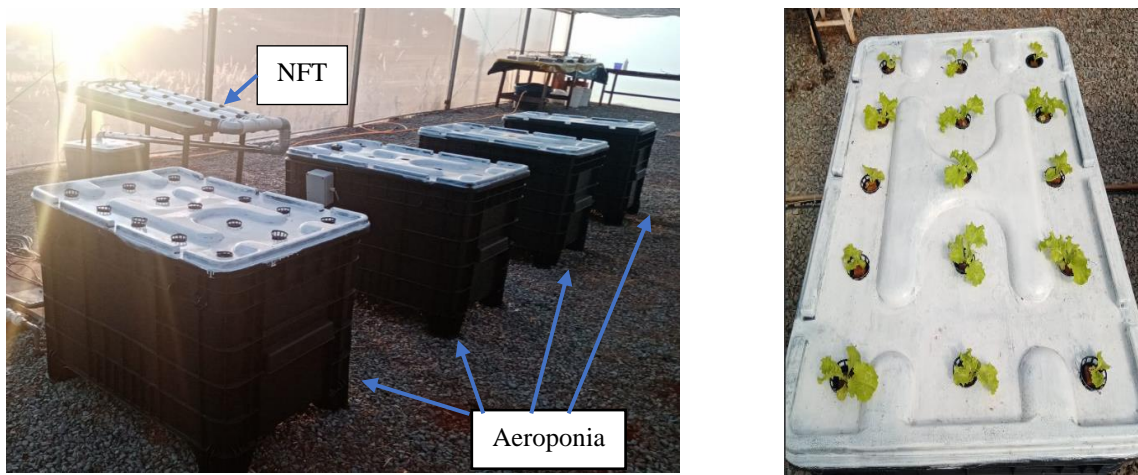


FIGURA 1. Módulos para condução dos experimentos em aeroponia e em sistema NFT.

Conforme disposição indicada na Figura 21, buscando aplicação uniforme no sistema radicular das plantas. Todos os bicos foram posicionados 10 cm abaixo da tampa e orientados para realizar a aplicação na direção do centro da caixa.

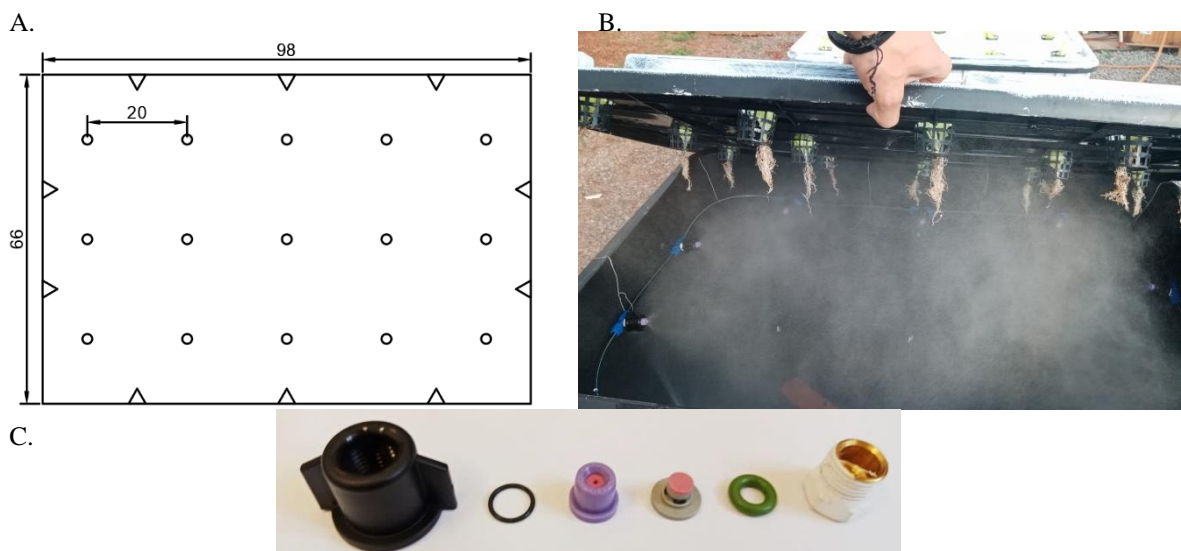


Figura 21. Disposição dos bicos e plantas no módulo de aeroponia (triângulos representam bicos e círculos representam plantas) (A e B); Peças para montagem dos bicos (C)

Montou-se um sistema hidráulicamente fechado e interligado para os módulos de aeroponia, equipado com: bomba centrífuga Schneider, multiestágios, modelo BT4-0505E7, 1/2CV; filtro de discos de 120 mesh); válvulas solenoides 1/2", normalmente fechada, ação direta, 220 V; tanque adicional de 250 L equipado com unidade condensadora de 9000 BTU para controle de temperatura (resfriamento) da solução nutritiva; e, circuito eletrônico para aquisição de dados do transdutor de pressão e controle de válvulas, Desenvolveu-se um módulo (hardware e firmware) para controle da bomba e das válvulas (ESP32 #01), sendo que o acionamento dos atuadores foi realizado por relés eletromecânicos. Esse módulo sempre acionava os atuadores em resposta a requisições enviadas pelo aplicativo de controle executado no Raspberry PI, ou ainda, a requisições enviadas pelo aplicativo do celular no caso de necessidade de comando manual de atuadores

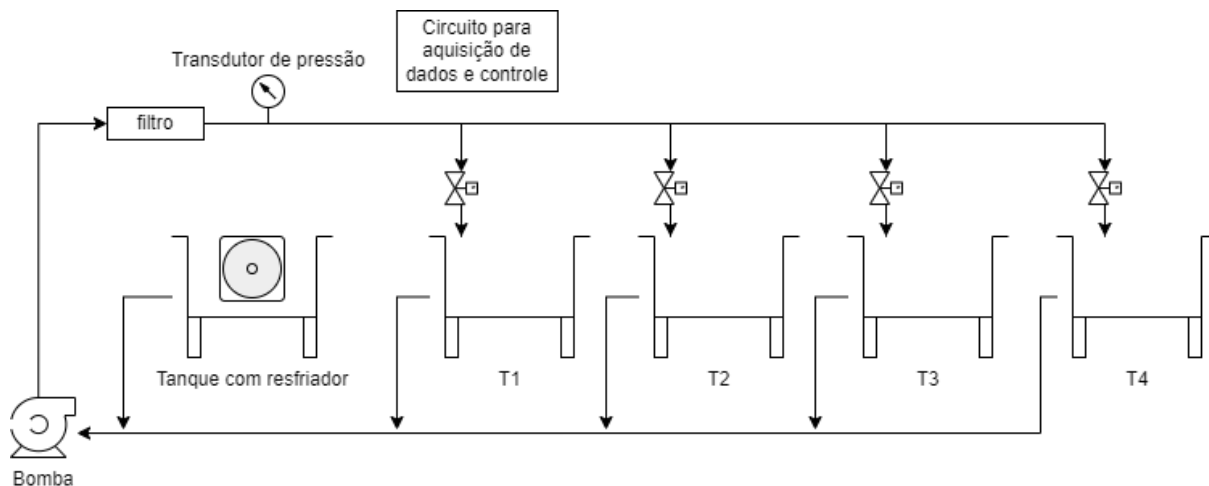


FIGURA 2. Módulos para condução dos experimentos em aeroponia e em sistema NFT
Modelo de equação:

A formulação da solução nutritiva empregada nos experimentos é apresentada na Tabela 1. O pH da solução foi mantido em $5,5 \pm 0,5$ e a condutividade elétrica em $1,8 \pm 0,3$ dS m⁻¹. O monitoramento de pH foi realizado utilizando um medidor de pH portátil AKSO AK90 (erro e resolução de $\pm 0,1$) e de CE foi realizado com medidor portátil AKSO AK51 (faixa de medição 0,01 a 19,99 dS m⁻¹; resolução de 0,01 dS m⁻¹; erro de 2% em relação ao fim de escala).

Tabela 1. Formulação utilizada no preparo da solução nutritiva de todos os tratamentos (FURLANI et al., 2009)

Fertilizante	Quantidade (mg L ⁻¹)
Nitrato de cálcio	700
Sulfato de Magnésio	350
Nitrato de Potássio	450
MKP	100
Conmicros Standard	20

Foi adotado delineamento inteiramente casualizado, caracterizado por 5 tratamentos: T1: sistema ligado 24 h/dia ($DPV_{acum} = 0$ kPa.h); T2: irrigar quando $DPV_{acum} = 2,0$ kPa.h; T3: irrigar quando $DPV_{acum} = 3,5$ kPa.h; T4: irrigar quando $DPV_{acum} = 5,0$ kPa.h; T5: cultivo no sistema NFT ligado 24 h/dia. Para estimular o desenvolvimento radicular a irrigação nos tratamentos com aeroponia (T1, T2, T3 e T4) era acionada simultaneamente por 5 minutos sempre que o DPV acumulado atingia 1,5 kPa.h. por período de 7 dias, depois iniciavam os tratamentos diferenciados (Figura 3). Desenvolveu-se um aplicativo para automação de rotinas de irrigação e registro de informações no banco de dados. Os valores de DPV acumulado, eram calculados a cada 30 segundos. Ao atingir o valor acumulado definido para o tratamento, o sistema acionava a irrigação e reiniciava a rotina. Na data da colheita foram realizadas as seguinte medições: massa fresca da planta; número de folhas por planta; área de projeção do dossel; diâmetro da planta; área lateral de raízes; clorofila; acidez total titulável (ATT); sólidos solúveis totais (SST); e, índice de maturidade ou flavor. O número de plantas variou entre 3 a 5. dependendo da variável medida.

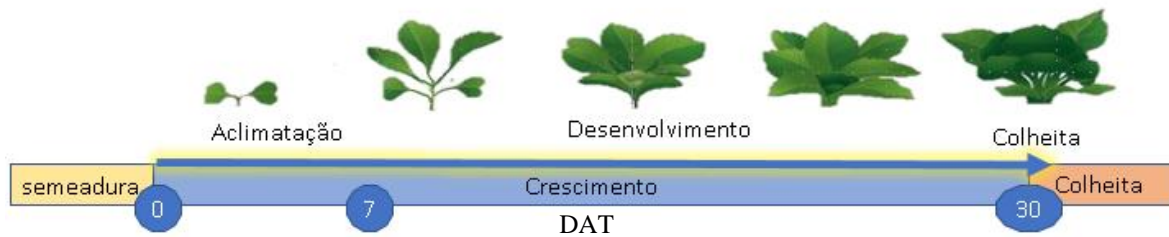


FIGURA 2. Etapas do manejo de irrigação cultivo

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

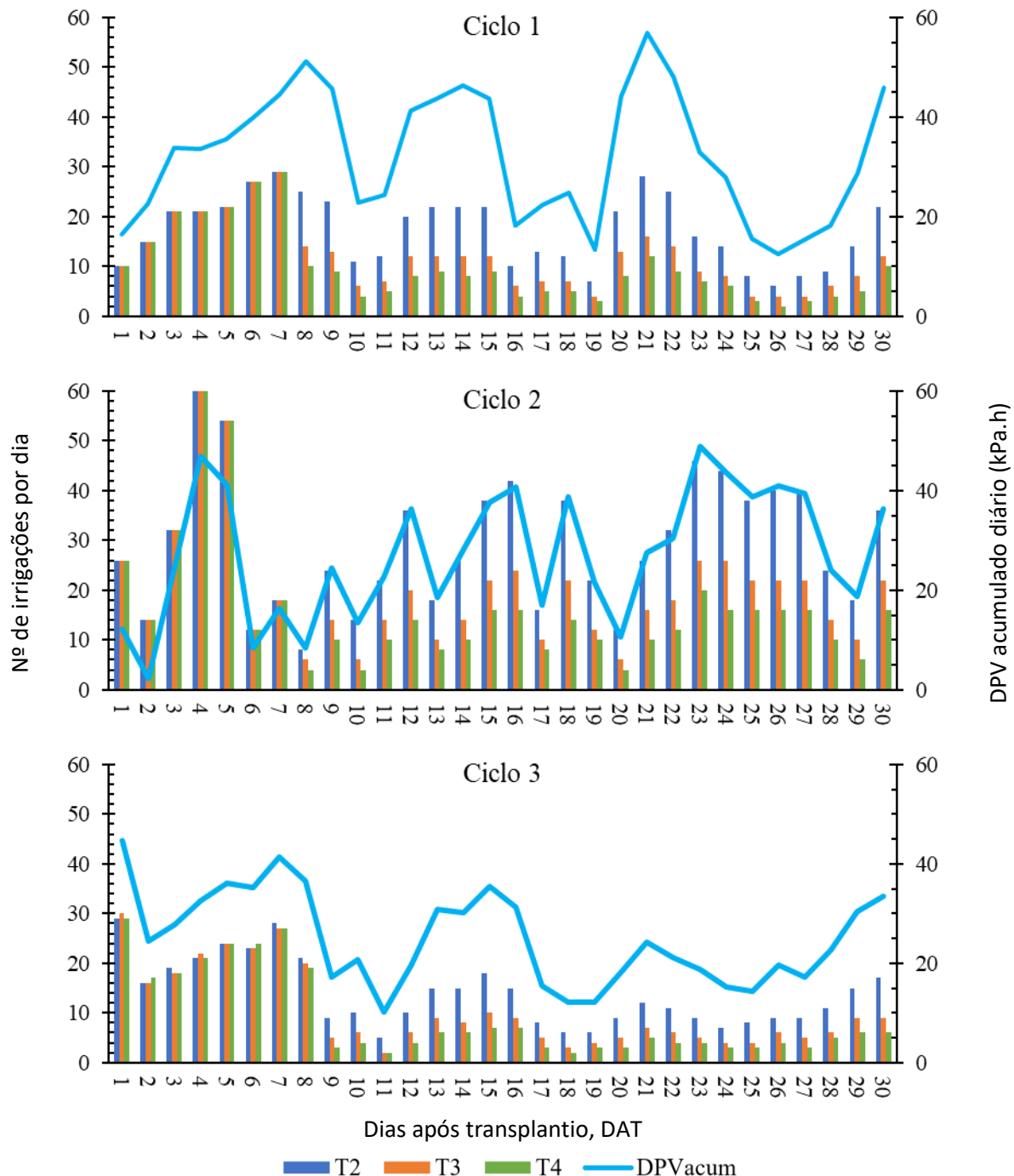
A Tabela 1 apresenta o número de irrigações e os tempos de operação nos ciclos de cultivo realizados. Os ciclos tiveram duração fixada em 30 dias, sendo que o tempo de operação de T1 e T5 foi de 720 h em cada ciclo. Os indicadores mostrados evidenciam o benefício energético ao adotar critérios de manejo de irrigação ao invés de simplesmente manter o sistema acionado 24 h/dia. Mesmo no tratamento T2, em que as irrigações são frequentes, a redução no tempo de operação do sistema foi de 94,0%, 89,9% e 95,2% nos ciclos 1, 2 e 3, respectivamente. Destaca-se que essas reduções no tempo de operação têm relação direta com os custos operacionais de energia elétrica para pressurização do sistema de irrigação. Além disso foi observado maior número de eventos de irrigação no ciclo 2, o que é explicado pela maior demanda atmosférica esse ciclo. Já o menor número de irrigações foi observado no ciclo 3, o que se justifica pela alta incidência de precipitações características do clima local no período entre dezembro e janeiro (verão chuvoso).

TABELA 1. Numero de irrigações e tempos de operação nos ciclos

Ciclo	Tratamento	Nº de irrigações no ciclo	Nº médio de irrigações por dia	Horas de operação no ciclo	% de redução no tempo de operação
1	T1	--	--	720	0.0
	T2	515	17.2	42.9	94.0
	T3	355	11.8	29.6	95.9
	T4	293	9.8	24.4	96.6
	T5	--	--	720	0.0
2	T1	--	--	720	0.0
	T2	876	29.2	73.0	89.9
	T3	594	19.8	49.5	93.1
	T4	482	16.1	40.2	94.4
	T5	--	--	720	0.0
3	T1	--	--	720	0.0
	T2	415	13.8	34.6	95.2
	T3	313	10.4	26.1	96.4
	T4	272	9.1	22.7	96.9
	T5	--	--	720	0.0

A Figura 4 apresenta o número de irrigações por dia nos tratamentos T2, T3 e T4, e valores diários de déficit de pressão de vapor acumulado. Dados dos tratamentos T1 e T5 não são aplicáveis já que o sistema foi mantido ligado 24 h/dia nessas condições. Durante os primeiros 7 dias realizou-se aclimação das plantas, sendo que o número de irrigações foi o mesmo em todos os tratamentos e isso também inclui T1. Nos experimentos preliminares em

que não foi realizada essa aclimatação, verificou-se crescimento radicular pouco vigoroso. A possível justificativa é que o intervalo entre irrigações condicionado pelos tratamentos T2, T3 e T4 provocou estresse hídrico suficiente para comprometer o desenvolvimento de raízes das plântulas recém transplantadas. Além disso a Figura 4 evidencia que o sistema automatizado operou conforme esperado ao longo dos ciclos de cultivo já que o número diário de irrigações seguiu a tendência de valores diários de DPV acumulado.



A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** agrupa os resultados de indicadores de desenvolvimento vegetal e produção nos ciclos de cultivo avaliados e permite a comparação entre os tratamentos.

TABELA 2. Indicadores de desenvolvimento vegetal e produção nos ciclos de cultivo.

Variável	Tratamento				
	T1	T2	T3	T4	T5
	Média ± Desvio-padrão				
Massa fresca (g/planta)	103,9±42,3 a	65,3±35,1 b	42,6±25,8 bc	28,1±16,1 c	125,1±30,0 a
Nº de folhas por planta	13,9±2,4 ab	12,7±1,7 bc	11,4±1,5 cd	10,1±2,2 d	15,2±2,5 a
Área de projeção do dossel (cm ²)	972,6±156,9 a	508,6±129,4 b	402,2±116,7 b	244,6±60,6 c	1021,2±191,2 a
Diâmetro da planta (cm)	41,0±5,0 a	30,7±4,4 b	26,5±3,2 b	21,7±2,3 c	46,0±2,9 a
Área lateral de raízes (cm ²)	22,0±7,7 bc	35,5±21,8 ab	15,0±2,9 c	7,9±3,2 d	34,5±9,1 a
Clorofila	17,6±1,0 ab	22,1±3,5 a	18,0±4,6 ab	20,9±3,8 ab	15,3±4,1 b
ATT (µg/100 mL)	53,7±39,0 a	40,4±25,7 a	37,6±24,6 a	32,9±25,4 a	45,2±26,9 a
SST (º brix)	3,6±0,5 b	3,6±0,8 b	4,5±1,0 a	4,9±0,7 a	3,0±0,3 c
Flavor	0,41±0,14 cd	0,56±0,20 bc	0,70±0,19 ab	0,96±0,45 a	0,39±0,14 d

^{NS}: não significativo (P>0,05); * : significativo (P<0,05); ** : significativo (P<0,01); C.V.: coeficiente de variação.

CONCLUSÕES: Níveis de déficit de pressão de vapor acumulado e respectivos efeitos no desenvolvimento da alface cultivada em aeroponia foram avaliados, sendo confirmado que a proposta de critério para tomada de decisões baseada no DPV acumulado é viável para o manejo de sistemas aeropônicos. recomenda-se avaliar valores de DPV acumulado inferiores a 2,0 kPa.h, que conduzem a irrigações mais frequentes e favorecem o desenvolvimento da parte aérea da planta.

Os indicadores de tempo de operação empregados para comparação dos tratamentos, evidenciam resultados expressivos em termos de economia de energia ao adotar critérios racionais de manejo de irrigação ao invés de simplesmente manter o sistema acionado 24 h dia-1. Mesmo no tratamento T2, em que as irrigações foram mais frequentes, a redução no tempo de operação do sistema foi de aproximadamente 90% em relação as condições de operação 24 h dia-1. Destaca-se que essas reduções no tempo de operação têm relação direta com os custos operacionais de energia elétrica para pressurização do sistema de irrigação e contribuem para tornar a atividade agrícola mais rentável para os produtores.

AGRADECIMENTOS: O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior -Brasil (CAPES).

REFERÊNCIAS:

- ABIOYE, E. A. et al. A review on monitoring and advanced control strategies for precision irrigation. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 173, n. August 2019, 2020.
- ALBUQUERQUE, P. E. P.; DURÃES, F. O. M. **Uso e manejo de irrigação**. [s.l.] EMBRAPA, 2008.
- BAYONA-PENAGOS, L. V.; VÉLEZ-SÁNCHEZ, J. E.; RODRIGUEZ-HERNANDEZ, P. Efecto del riego deficitario en la poscosecha de pera variedad Triunfo de Viena (*Pyrus communis* L.) en Sesquilé (Cundinamarca, Colombia). **Agronomia Colombiana**, v. 35, n. 2, p. 238–246, 2017
- FAO. El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura -. **Sistemas al límite. Informe de síntesis 2021**,
- PADRÓN, R. A. R. **Manejo, gestão e técnicas em irrigação 2021**
- PANTANO, A. P.; CAMPAROTTO, L. B.; MEIRELES, E. J. L. **Monitoramento agrometeorológico para regiões cafeeiras do estado de São Paulo: Janeiro/2010 - Dezembro/2019 (Boletim técnico 224 - IAC)**. Campinas: IAC, 2021.
- RASSINI, J. B. Manejo da água de irrigação. Em: **Irrigação e fertilização em fruteiras e hortaliças**. [s.l: s.n.]. p. 156–232.
- WEATHERS, P. J.; ZOBEL, R. W. Aeroponics for the culture of organisms, tissues and cells. **Biotechnology Advances**, v. 10, n. 1, p. 93–115, 1992.

