

REÚSO DE SOLUÇÕES NUTRITIVAS NO CULTIVO HIDROPÔNICO DE ALFACE: EFEITOS NA QUALIDADE PÓS-COLHEITA

**PRISCILA HELENA DA SILVA MACEDO¹; KARLA RODRIGUES BORBA²;
MARCOS DAVID FERREIRA³; MARTA REGINA VERRUMA-BERNARDI⁴ E
CLAUDINEI FONSECA SOUZA⁵**

¹ Departamento de Recursos Naturais e Proteção Ambiental, Universidade Federal de São Carlos, Brasil; *priscila.silva@ufscar.br*; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6073-2209>

² Embrapa Instrumentação, Brasil. *borbakr@gmail.com*; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1262-9098>

³ Embrapa Instrumentação, Brasil; *marcos.david@embrapa.br*; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4544-8784>

⁴ Departamento de Tecnologia Agroindustrial e Socioeconomia Rural, Universidade Federal de São Carlos, Brasil; ; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1375-0938>

⁵ Departamento de Recursos Naturais e Proteção Ambiental, Universidade Federal de São Carlos, Brasil; *cfsouza@ufscar.br*; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9501-0794>

1 RESUMO

A sustentabilidade dos sistemas hidropônicos depende do uso racional de recursos, incluindo o manejo adequado da solução nutritiva. O estudo avaliou os efeitos do reuso da solução, com reposição controlada de nutrientes, no pós-colheita da alface (*Lactuca sativa* L., cv. Milena) cultivada em sistema NFT. Foram testados dois tratamentos: T1 (reposição dos nutrientes consumidos, sem renovação da solução nutritiva) e T2 (renovação semanal da solução nutritiva). Avaliaram-se área foliar, índice de clorofila (SPAD), perda de massa fresca e pressão de turgescência. Os resultados mostraram que o T1 foi tão eficaz quanto o T2 em área foliar, clorofila e perda de massa, sem diferenças estatísticas. A pressão de turgescência foi significativamente maior no T2, indicando que a renovação favorece o estado hídrico foliar. Os resultados indicaram que o reuso com reposição adequada de nutrientes é uma alternativa viável, econômica e ambientalmente sustentável, com impacto mínimo sobre a qualidade pós-colheita. A turgescência foliar se destaca como indicador fisiológico sensível às variações no manejo nutricional, devendo ser considerada no monitoramento da qualidade.

Palavras-chave: hidroponia, cultivo de hortaliças, *Lactuca sativa* L., sustentabilidade.

MACEDO, P. H. S.; BORBA, K. R.; FERREIRA, M. D.; VERRUMA-BERNARDI, M. R.; SOUZA, C. F.
NUTRIENT SOLUTION REUSE IN HYDROPONIC LETTUCE CULTIVATION: EFFECTS ON POST-HARVEST QUALITY

2 ABSTRACT

The sustainability of hydroponic systems depends on the rational use of resources, including proper management of the nutrient solution. In this study, the effects of nutrient solution reuse, with controlled nutrient replenishment, on the postharvest quality of lettuce (*Lactuca sativa* L., cv. Milena) grown in an NFT system were evaluated. Two treatments were tested: T1

(replenishment of consumed nutrients without solution renewal) and T2 (weekly nutrient solution renewal). The leaf area, chlorophyll index (SPAD), fresh mass loss, and turgor pressure were evaluated. The data revealed that T1 was as effective as T2 in terms of leaf area, chlorophyll index, and mass loss, with no significant differences. Turgor pressure was significantly greater in T2, indicating that solution renewal favors leaf water status. The results indicate that nutrient solution reuse with proper replenishment is a viable, economical, and environmentally sustainable alternative with minimal impact on postharvest quality. Leaf turgor stands out as a sensitive physiological indicator of variations in nutrient management and should be considered in quality monitoring.

Keywords: hydroponics, vegetable cultivation, *Lactuca sativa* L., sustainability.

3 INTRODUÇÃO

A crescente demanda global por alimentos, impulsionada pelo crescimento populacional e pelas mudanças climáticas, intensifica a busca por sistemas agrícolas mais eficientes e sustentáveis. Entre esses sistemas, a hidroponia destaca-se como uma técnica de cultivo sem solo, que utiliza soluções nutritivas para fornecer os elementos essenciais ao desenvolvimento das plantas (RESH, 2022). Entretanto, em sistemas hidropônicos fechados, o descarte inadequado das soluções nutritivas ao final do ciclo de cultivo pode ocasionar desperdício significativo de água e fertilizantes, além de representar uma fonte potencial de poluição ambiental. O excesso de sais minerais liberados em ambientes agrícolas, quando não tratado adequadamente, está associado à eutrofização de corpos d'água e ao desequilíbrio dos ecossistemas aquáticos (GRUDA, 2019).

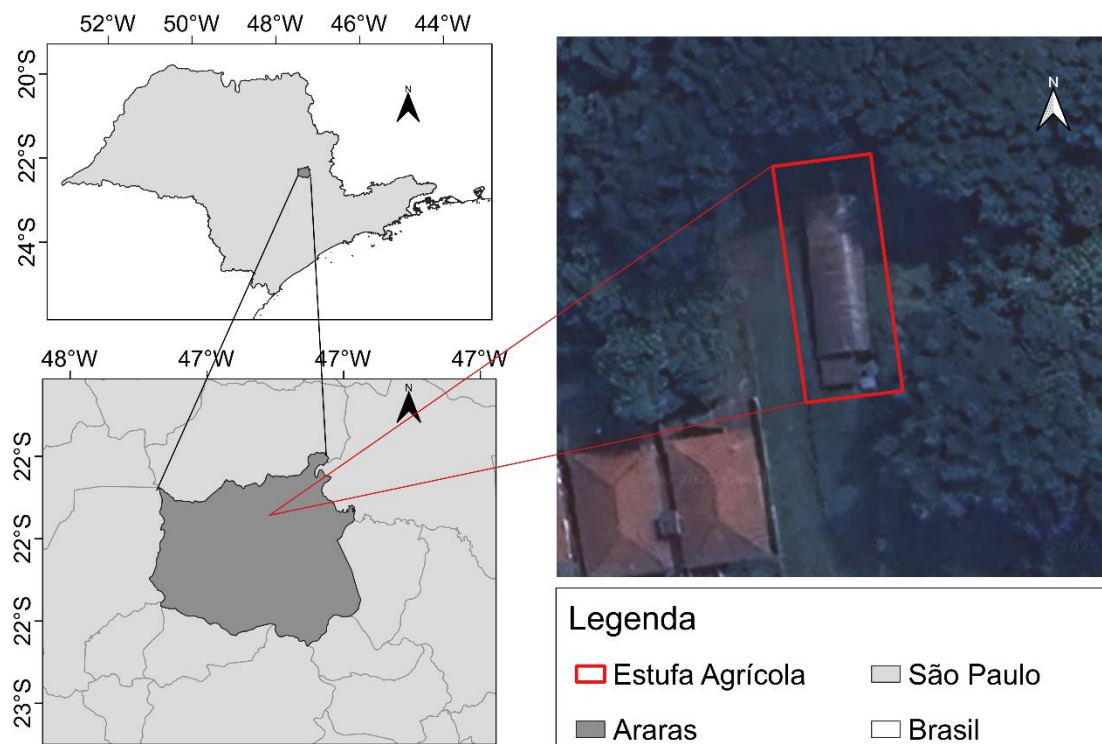
Nesse contexto, o reúso das soluções nutritivas surge como uma estratégia promissora para aumentar a eficiência do sistema e minimizar seus impactos ambientais, permitindo a reutilização da água e dos nutrientes dissolvidos, reduzindo assim o consumo de fertilizantes e os riscos de contaminação (SAVVAS; GRUDA,

2018). Além disso, o monitoramento constante e o ajuste químico das soluções nutritivas são essenciais para manter níveis ideais de nutrientes, favorecendo a produtividade e a qualidade das culturas (SANTOS JÚNIOR *et al.*, 2018).

Apesar dos avanços, ainda existem lacunas quanto aos efeitos do reúso das soluções nutritivas sobre aspectos fisiológicos e qualitativos das plantas cultivadas em hidroponia, especialmente no que se refere às características pós-colheita, as quais são determinantes para o valor comercial do produto. Assim, este estudo investigou se o reúso das soluções nutritivas, anteriormente descartadas no cultivo hidropônico de alface, afeta parâmetros pós-colheita fundamentais para a qualidade, durabilidade e aceitação do produto, como área foliar, índice de clorofila (SPAD), perda de massa fresca e pressão de turgescência.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O cultivo da alface cultivar Milena (segmento crespa) foi realizado em estufa agrícola no Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) – Campus Araras/SP, localizado na latitude 22°18'53,23" S e longitude 47°23'00,91" O (Figura 1).

Figura 1. Localização e características da área de estudo.

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

A estufa utilizada foi do modelo Poly House, tipo “em arcos”, com dimensões de 6,4 x 20,0 x 3,5 m (Largura x Comprimento x Altura), coberta com filme de polietileno transparente com aditivo anti-UV e laterais fechadas com tela branca do tipo sombrite. O sistema de cultivo adotado foi o hidropônico, utilizando a Técnica do Fluxo Laminar de Nutrientes (NFT).

A estrutura experimental foi composta por oito bancadas, cada uma contendo quatro canais de polipropileno com 75 mm de diâmetro e 3,0 m de comprimento. Cada bancada acomodava 48 plantas (12 plantas por canal), sendo consideradas úteis as 18 plantas centrais.

O experimento foi dividido em duas etapas sequenciais. Na primeira etapa, realizou-se o monitoramento e a coleta dos dados das quantidades de nutrientes presentes na solução nutritiva, a qual foi renovada semanalmente, até os 28 dias após o transplante (DAT). Foram quantificados os

nutrientes absorvidos pelas plantas com base na diferença entre as concentrações presentes nas soluções nutritivas iniciais e nas soluções descartadas ao final de cada período de sete dias.

Com base nos dados obtidos na etapa anterior, estabeleceu-se a segunda etapa do experimento. Nessa fase, foram aplicados dois tratamentos: o tratamento 1 (T1), em que se fez a reposição dos nutrientes consumidos sem renovação da solução nutritiva até os 28 DAT; e o tratamento 2 (T2), no qual a solução nutritiva foi totalmente renovada semanalmente, mantendo-se uma solução nutricionalmente balanceada a cada sete dias, até o final do ciclo, aos 28 DAT. Para o T1, os dados de concentração de nutrientes (N, P, K, Ca e Mg, em mg L^{-1}) foram convertidos em quantidades de sais comerciais (nitrato de cálcio, nitrato de potássio, sulfato de magnésio, fosfato monoamônico e Conmicros), considerando o volume de

solução restante nos reservatórios. A reposição de micronutrientes foi realizada com base na média percentual do consumo semanal de macronutrientes, já que esses não foram analisados diretamente.

O delineamento experimental desta etapa foi em blocos ao acaso onde cada bancada foi considerada uma unidade experimental, totalizando 4 repetições por tratamento.

Durante todo o experimento, o pH e a condutividade elétrica (CE) das soluções nutritivas foram monitorados e ajustados conforme necessário, segundo orientações de Martinez (2002), a fim de garantir condições adequadas ao desenvolvimento das plantas. A colheita foi realizada aos 28 DAT, no período da manhã. As plantas foram cuidadosamente acondicionadas em sacos plásticos e transportadas para análises de área foliar, índice de clorofila, perda de massa e pressão de turgescência.

A avaliação da área foliar foi feita imediatamente após a colheita, utilizando quatro plantas inteiras por tratamento. As medições foram realizadas com um integrador de área foliar (LI-COR 3000A, LI-COR Inc., Lincoln, Nebraska, EUA), considerando todas as folhas de cada planta. Para as análises de índice de clorofila total, perda de massa e pressão de turgescência foram utilizadas duas plantas aleatórias de cada tratamento que foram analisadas em intervalos de 1, 3, 5 e 7 dias após o armazenamento refrigerado a $8^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$. Durante o armazenamento, as plantas foram

colocadas em sacos de polietileno (0,30 x 0,40 m) abertos.

As leituras do índice de clorofila foram realizadas em folhas intactas com um medidor portátil de clorofila SPAD-502 (Minolta Camera Co., Osaka, Japan), em valor SPAD, efetuando-se seis medições por folha, a dois centímetros da margem. A perda de massa foi determinada pela diferença entre a massa inicial e a massa final das plantas, a cada dois dias, usando uma balança semianalítica (Micronal B3600), com precisão de 0,01 g, sendo os resultados expressos em gramas. A pressão de turgescência foi medida com o equipamento Wiltmeter® (CALBO; FERREIRA, 2011), com leituras feitas na porção intermediária de folhas intactas, e os resultados foram expressos em kgf cm^{-2} (Minolta Camera Co., Osaka, Japan)

Os dados obtidos foram submetidos à comparação de médias utilizando o teste t de Student, com nível de significância de 5%.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados indicam que a reposição de nutrientes, sem renovação da solução nutritiva (T1), foi suficiente para atender às exigências fisiológicas da alface, conforme evidenciado pela ausência de diferença significativa nas variáveis área foliar, índice de clorofila e perda de massa entre os tratamentos (Tabela 1).

Tabela 1. Valores médios de parâmetros fisiológicos e pós-colheita da alface hidropônica sob diferentes manejos da solução nutritiva.

Tratamento	Área foliar (cm ²)	Índice de clorofila (SPAD)	Perda de massa (%)	Pressão de turgescência (kgf cm ²)
T1	2088,20	20,57	17,70	1,37
T2	1927,89	18,55	20,50	1,55
Desvio padrão	113,35	1,43	1,97	0,12
P-valor	0,65	0,40	0,44	0,03

A média da área foliar foi de 2088,20 cm² para o T1 e 1927,89 cm² para o T2. Esses resultados demonstram que, mesmo sem renovação da solução nutritiva, a reposição controlada dos nutrientes foi eficaz para sustentar o crescimento vegetativo. A literatura aponta que a morfologia foliar responde diretamente à disponibilidade nutricional (CID; TEIXEIRA, 2017), reforçando que o manejo adotado no T1 proporcionou uma solução nutricional equivalente ao T2 em termos de suprimento às demandas metabólicas da planta.

Diferentemente de Miller et al. (2020), os resultados indicam que a reposição controlada de nutrientes foi suficiente para manter o equilíbrio fisiológico das plantas, mesmo sem renovação total da solução nutritiva.

O índice de clorofila médio foi de 20,57 SPAD no T1 e 18,55 SPAD no T2. Embora a diferença não tenha sido estatisticamente significativa, o valor superior no T1 sugere que a estratégia de reposição de nutrientes favoreceu a manutenção da atividade fotossintética. Segundo Miller et al. (2020), variáveis fisiológicas como o teor de clorofila são sensíveis ao balanço nutricional e podem indicar, de forma precoce, eventuais limitações no suprimento de nutrientes.

A perda de massa foi de 17,7% para o T1 e 20,5% para o T2, sem diferença significativa entre os tratamentos. Esse resultado demonstra que o reuso da solução nutritiva não comprometeu o estado hídrico das plantas durante o armazenamento. Considerando que a perda de massa é fortemente influenciada pela transpiração e pelo metabolismo respiratório (NASCIMENTO et al., 2017), os dados indicam que o reuso não alterou significativamente a integridade fisiológica da planta no pós-colheita.

Houve diferença significativa ($p = 0,035$) na pressão de turgescência, com valores médios de 1,37 kgf cm⁻² no T1 e 1,55

kgf cm⁻² no T2. Isso indica maior retenção de água nas células foliares das plantas cultivadas com solução renovada. A turgescência foliar é determinada pelo balanço entre o potencial osmótico e o potencial de pressão celular, ambos diretamente influenciados pela disponibilidade e pelo manejo da solução nutritiva. Nutrientes osmoticamente ativos, como potássio (K⁺), cálcio (Ca²⁺) e magnésio (Mg²⁺), desempenham papel central na manutenção do potencial osmótico e, consequentemente, na retenção hídrica intracelular (TAIZ et al., 2017). A perda de massa fresca em hortaliças pós-colheita está associada, majoritariamente, à perda de água por transpiração, e se correlaciona linearmente com a queda da turgescência (BORBA; FERREIRA; CALBO, 2014). No presente estudo, a maior pressão de turgescência observada em T2 sugere que a renovação completa da solução nutritiva favoreceu a absorção de cátions essenciais, ampliando a capacidade de ajuste osmótico e retardando a perda de pressão celular durante o armazenamento. Esse resultado está em acordo com Miller et al. (2020), que demonstraram que deficiências nutricionais, mesmo com condutividade elétrica aparentemente adequada, podem reduzir o crescimento e a capacidade de manutenção hídrica das plantas em sistemas hidropônicos.

6 CONCLUSÕES

A reutilização da solução nutritiva, com reposição adequada dos nutrientes, mantém o desenvolvimento da alface hidropônica em termos de área foliar, índice de clorofila e perda de massa fresca. A pressão de turgescência mostrou-se mais sensível às variações no manejo nutricional, indicando alterações fisiológicas pós-colheita. O reuso da solução nutritiva é agronomicamente, ambientalmente e economicamente viável, pois reduz o

consumo de água, fertilizantes e o descarte de efluentes, alinhando-se aos princípios da irrigação sustentável. O manejo sem renovação total da solução é eficaz para a produtividade e qualidade do cultivo, embora ajustes nutricionais possam ser necessários para preservar a qualidade pós-colheita.

7 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro e suporte ao desenvolvimento deste projeto de pesquisa.

8 REFERÊNCIAS

- BORBA, K. R.; FERREIRA, M. D.; CALBO, A. G. Monitoramento da pressão de turgescência de alfaces em diferentes ambientes de armazenamento. *In: JORNADA CIENTÍFICA DA EMBRAPA SÃO CARLOS*, 6., 2014, São Carlos. **Anais [...]**. São Carlos: Embrapa Instrumentação; Embrapa Pecuária Sudeste, 2014. p. 91.
- CALBO, A. G.; FERREIRA, M. D. Evaluation of hydration indexes in kale leaves. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Campos dos Goytacazes, v. 23, p. 141-149, 2011.
- CID, L. P. B.; TEIXEIRA, J. B. **Fisiologia vegetal: definições e conceitos**. Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2017. (Documentos, n. 356).
- GRUDA, N. Increasing sustainability of growing media constituents and stand-alone substrates in soilless culture systems. **Agronomy**, Bonn, v. 9, n. 6, e298, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy9060298>.
- MARTINEZ, E. P. **O uso do cultivo hidropônico de plantas em pesquisa**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2002.
- MILLER, A.; ADHIKARI, R.; NEMALI, K. Recycling nutrient solution can reduce growth due to nutrient deficiencies in hydroponic production. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 11, article 607643, p. 1-11, 2020.
- NASCIMENTO, G. A. S.; SANCHES, A. G.; MOREIRA, E. G. S.; CORDEIRO, C. A. M. Tratamento hidrotérmico na conservação e qualidade pós-colheita de alface. **Revista Trópica: Ciências Agrárias e Biológicas**, Chapadinha, v. 9, n. 1, p. 65-76, 2017.
- RESH, H. M. **Hydroponic food production: a definitive guidebook for the advanced home gardener and the commercial hydroponic grower**. 8. ed. Boca Raton: CRC Press, 2022.
- SANTOS JÚNIOR, J. A.; GHEYI, H. R.; CAVALCANTE, A. R.; FRANCILINO, A. H.; PEREZ-MARIN, A. M. Crescimento de girassóis ornamentais sob estresse salino em hidroponia de baixo custo. **Irriga**, Botucatu, v. 21, n. 3, p. 591-604, 2018. DOI: <https://doi.org/10.15809/irriga.2016v21n3p591-604>.
- SAVVAS, D.; GRUDA, N. Application of soilless culture technologies in the modern greenhouse industry – a review. **European Journal of Horticultural Science**, Leuven, v. 83, n. 5, p. 280-293, 2018. DOI: <https://doi.org/10.17660/eJHS.2018/83.5.2>.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

