

ESTRATÉGIAS DE MANEJO HÍDRICO PARA OTIMIZAR A EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA NA CULTURA DA ALFACE

Maria Gabriela de Queiroz¹.

³Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG), Passos, Minas Gerais.

<http://lattes.cnpq.br/2053330973064133>

RESUMO: A irrigação é um dos principais fatores para o sucesso da produção de hortaliças, porém o uso racional da água tornou-se essencial diante da crescente limitação dos recursos hídricos. Nesse contexto, objetivou-se avaliar estratégias de manejo hídrico visando otimizar a eficiência do uso da água na cultura da alface submetida a diferentes níveis de reposição da evapotranspiração de referência (ET_o). O experimento foi conduzido em campo, em delineamento de blocos casualizados, em esquema fatorial 2 × 4, com três repetições, utilizando cobertura plástica do solo e quatro níveis de reposição da ET_o (50, 75, 100 e 125%). Além das variáveis agronômicas, foram determinados a produtividade da água e o percentual de economia de água de irrigação. A precipitação acumulada durante o ciclo foi de 56,8 mm, enquanto as lâminas de irrigação variaram de 53,8 a 129,7 mm. A reposição de 75% da ET_o apresentou a maior produtividade de massa fresca (24,33 t ha⁻¹), utilizando 23,1% menos água de irrigação em comparação à reposição de 100% da ET_o. Por sua vez, a reposição de 50% da ET_o proporcionou a maior produtividade da água (19,22 kg m⁻³), associada à economia de 50,4% da água de irrigação. Os resultados demonstram que estratégias de irrigação com reposições inferiores a 100% da ET_o podem aumentar a eficiência do uso da água sem comprometer significativamente o desempenho produtivo da cultura, constituindo alternativa promissora para sistemas de produção mais sustentáveis.

PALAVRAS-CHAVE: *Lactuca sativa* L.. Produtividade da água. Manejo da irrigação.

WATER MANAGEMENT STRATEGIES TO OPTIMIZE WATER USE EFFICIENCY IN LETTUCE CULTIVATION

ABSTRACT: Irrigation is one of the main factors determining the success of vegetable production, and improving water use efficiency has become essential under increasing pressure on water resources. This study aimed to evaluate water management strategies to optimize water use efficiency in lettuce cultivation under different levels of reference evapotranspiration (ET_o) replacement. The experiment was conducted under field conditions using a randomized complete block design in a 2 × 4 factorial arrangement with three replications, combining plastic mulch with four ET_o replacement levels (50, 75, 100, and 125%). In addition to agronomic traits, water productivity and irrigation water savings were determined. Total rainfall during the crop cycle was 56.8 mm, while irrigation depths ranged from 53.8 to 129.7 mm. The 75% ET_o replacement treatment achieved the highest fresh

yield (24.33 t ha⁻¹) while using 23.1% less irrigation water than the 100% ETo treatment. In contrast, the 50% ETo replacement resulted in the highest water productivity (19.22 kg m⁻³), with irrigation water savings of 50.4%. These findings demonstrate that irrigation strategies based on ETo replacements below 100% can improve water use efficiency without substantially reducing lettuce productivity, representing a promising alternative for more sustainable irrigated production systems.

KEYWORDS: *Lactuca sativa* L.. Water productivity. Irrigation management.

INTRODUÇÃO

A disponibilidade de água para a agricultura constitui um dos principais desafios para a segurança alimentar mundial diante das mudanças climáticas, do crescimento populacional e da crescente competição entre os diferentes setores usuários dos recursos hídricos. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO, 2023), indicam que, embora a irrigação represente uma das estratégias mais eficientes para garantir a estabilidade da produção agrícola, especialmente em regiões sujeitas à irregularidade das precipitações, sua utilização demanda planejamento e manejo adequados para assegurar o uso racional da água e minimizar impactos ambientais.

Na olericultura, a irrigação exerce papel fundamental devido às características fisiológicas das hortaliças, que apresentam sistema radicular superficial, elevada taxa de transpiração e grande sensibilidade às oscilações da disponibilidade hídrica no solo. A alface (*Lactuca sativa* L.), principal hortaliça folhosa consumida no Brasil, destaca-se entre as espécies mais dependentes de um adequado suprimento de água durante todo o ciclo produtivo. Déficits hídricos podem comprometer o crescimento vegetativo, reduzir a expansão foliar e diminuir a produtividade comercial, enquanto o excesso de irrigação favorece perdas de nutrientes, aumento dos custos de produção e desperdício de água (Al-Karaki; Othman, 2023).

Tradicionalmente, o sucesso do manejo da irrigação tem sido avaliado pelo incremento da produtividade das culturas. Entretanto, diante do cenário atual de maior pressão sobre os recursos hídricos, essa abordagem isolada torna-se insuficiente. Nos últimos anos, a eficiência do uso da água (EUA) passou a ser considerada um dos principais indicadores de sustentabilidade dos sistemas irrigados, por relacionar a produção obtida ao volume de água utilizado durante o ciclo da cultura. Essa abordagem permite identificar estratégias capazes de manter níveis satisfatórios de produtividade com menor consumo hídrico, favorecendo sistemas agrícolas mais resilientes e economicamente viáveis (Fereres; Soriano, 2007; Pereira, Cordery e Iacovides, 2012).

Dessa forma, este capítulo tem como objetivo discutir estratégias de manejo hídrico voltadas à otimização da eficiência do uso da água na cultura da alface, utilizando como base experimental diferentes níveis de reposição da evapotranspiração, buscando identificar alternativas capazes de reduzir o consumo de água sem comprometer significativamente o desempenho produtivo da cultura.

OBJETIVO

Avaliar a eficiência do uso da água na cultura da alface (*Lactuca sativa* L.) submetida a diferentes níveis de reposição da evapotranspiração, buscando identificar estratégias de manejo hídrico que promovam o uso racional dos recursos hídricos sem comprometer significativamente a produtividade da cultura.

METODOLOGIA

O estudo foi conduzido na Fazenda Experimental da Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG), Unidade Passos, localizada no município de Passos, Minas Gerais, durante o período de maio a agosto de 2024. O clima da região é classificado como Cwa, segundo Köppen, caracterizado por inverno seco e verão chuvoso, com temperatura média anual de 20,3 °C e precipitação média de aproximadamente 1.620 mm.

O experimento foi conduzido em delineamento de blocos casualizados, em esquema fatorial 2×4 , com três repetições. Os tratamentos foram constituídos pela presença e ausência de cobertura plástica do solo (*mulching*) e por quatro níveis de reposição da evapotranspiração de referência (50, 75, 100 e 125% da ETo). As parcelas experimentais foram compostas por canteiros com plantas de alface crespa (*Lactuca sativa* L.), conduzidas conforme as recomendações técnicas para a cultura. A irrigação foi realizada por sistema de gotejamento, sendo as lâminas determinadas a partir da evapotranspiração de referência (ETo), estimada pelo método de Penman-Monteith FAO-56 (Allen et al., 1998), utilizando dados meteorológicos de uma estação automática, obtidos durante todo o período experimental.

Durante o ciclo da cultura foram avaliadas variáveis agrônomicas relacionadas à produtividade. Para este capítulo, foi realizada uma abordagem analítica, direcionada à avaliação da Eficiência do Uso da Água. Para tanto, os resultados de produtividade obtidos nos diferentes tratamentos foram relacionados ao volume total de água aplicado durante o ciclo da cultura, considerando as lâminas de irrigação e a precipitação efetiva registrada no período experimental.

A produtividade da água foi determinada pela relação entre a produtividade comercial da cultura (kg ha^{-1}) e o volume total de água utilizado ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$), sendo expressa em kg m^{-3} . Além da produtividade da água, foi determinado o percentual de economia de água proporcionado por cada estratégia de manejo hídrico, considerando como referência a lâmina correspondente à reposição de 100% da ETo, adotada como manejo convencional. Esse indicador permitiu quantificar a redução no volume de água de irrigação aplicado em cada tratamento (Equação 1).

$$EA(\%) = \left(\frac{L_{100} - L_i}{L_{100}} \right) \times 100$$

em que:

EA = economia de água (%);

L_{100} = lâmina de irrigação na reposição de 100% da evapotranspiração de referência (mm);

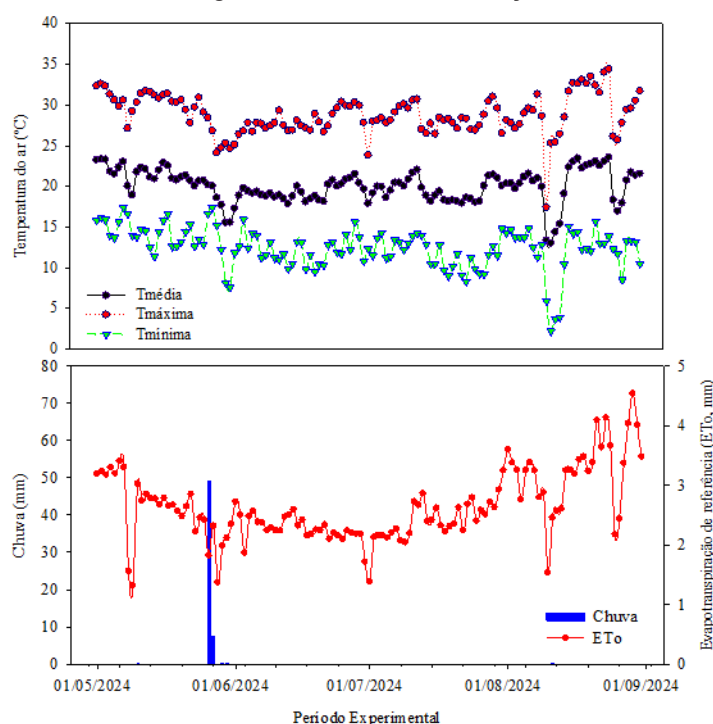
L_i = lâmina de irrigação aplicada em cada tratamento (mm).

Com base nesses indicadores, foi realizada análise comparativa entre os diferentes níveis de reposição da evapotranspiração. Os dados experimentais foram submetidos à análise de variância e, quando observadas diferenças significativas, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, conforme procedimento adotado no estudo original.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o ciclo da cultura, as lâminas de irrigação foram aplicadas diariamente com base na evapotranspiração de referência (ET_o), sendo ajustadas em função da ocorrência de precipitações. As condições meteorológicas observadas ao longo do período experimental estão apresentadas na Figura 1. A temperatura do ar variou de 2,2 a 34,4 °C, enquanto a ET_o diária oscilou entre 1,32 e 4,50 mm dia⁻¹, indicando demanda evaporativa predominantemente baixa a moderada. O maior evento pluviométrico ocorreu em 26/05/2024, quando foram registrados 49,2 mm de precipitação, seguido por 7,6 mm no outro. No total, a precipitação acumulada foi de 56,8 mm, contribuindo para o suprimento hídrico da cultura e reduzindo a necessidade de irrigação nesse período.

Figura 1: Variação diária dos elementos: temperatura do ar (°C), Evapotranspiração de referência (mm.dia⁻¹) e Chuva (mm), no período de maio a agosto de 2024, nas condições climáticas de Passos, Minas Gerais.



Fonte: Adaptado de Queiroz et al., 2025.

As lâminas de irrigação aplicadas nos tratamentos correspondentes a 50, 75, 100 e 125% da evapotranspiração de referência foram de 53,8, 83,4, 108,5 e 129,7 mm, respectivamente. Ao considerar conjuntamente a precipitação e a irrigação, a oferta total de água variou de 110,6 mm, no tratamento com 50% da ETo, a 186,5 mm, na reposição de 125% da ETo (Tabela 1).

Neste trabalho, quanto ao efeito dos tratamentos, não houve interação entre os diferentes ambientes e as lâminas de irrigação. Tomando-se a reposição de 100% da ETo como referência, os tratamentos com 50 e 75% proporcionaram economias de 50,4 e 23,1% na água de irrigação, respectivamente. Em contrapartida, a reposição de 125% da ETo obteve acréscimo de 19,5% no volume irrigado (valores negativos indicam aumento do volume irrigado em relação à reposição de 100% da ETo). Esses resultados mostram que a redução das lâminas possibilitou economia expressiva de água, sobretudo no tratamento correspondente a 50% da ETo (Tabela 1).

Tabela 1: Manejo hídrico, produtividade e eficiência do uso da água na cultura da alface

Reposição da ETo (%)	Irrigação (mm)	Água total (mm)	Economia de água (%)	Peso fresco (t ha ⁻¹)	Produtividade da água (kg m ⁻³)
50	53,8	110,6	50,4	21,26	19,22
75	83,4	140,2	23,1	24,33	17,35
100	108,5	165,3	0,0	21,68	13,12
125	129,7	186,5	-19,5	23,77	12,75

Fonte: elaborada pelos autores, 2026.

A produtividade de massa fresca variou entre 21,26 e 24,33 t ha⁻¹. O maior valor numérico foi observado com a reposição de 75% da ETo, que resultou em produtividade de 24,33 t ha⁻¹. Esse tratamento apresentou produtividade 12,2% superior à obtida com 100% da ETo, apesar de utilizar 23,1% menos água de irrigação. Esse resultado indica que, nas condições avaliadas, a reposição integral da evapotranspiração não foi necessária para alcançar o maior desempenho produtivo da cultura (Tabela 1).

A reposição de 50% da ETo resultou em produtividade de 21,26 t ha⁻¹, valor apenas 1,9% inferior ao observado no tratamento 100% da ETo. Entretanto, esse manejo reduziu em 50,4% o volume de água de irrigação aplicado. Dessa forma, a pequena diferença de produtividade foi acompanhada por uma economia hídrica expressiva, demonstrando o potencial da irrigação deficitária como estratégia de manejo em condições de disponibilidade limitada de água.

A análise da produtividade da água evidenciou comportamento inverso ao aumento da oferta hídrica. O tratamento com 50% da ETo apresentou a maior produtividade da água, de 19,22 kg m⁻³, seguido pelas reposições de 75, 100 e 125%, com 17,35, 13,12 e 12,75 kg m⁻³, respectivamente (Tabela 1). Assim, embora a reposição de 50% não tenha proporcionado a maior produção por área, foi a estratégia que apresentou maior conversão da água disponibilizada em massa fresca de alface.

Em comparação com a reposição de 100% da ETo, o tratamento com 50% aumentou a produtividade da água em aproximadamente 46,6%. Já a reposição de 75% proporcionou incremento de 32,3% nesse indicador, além de apresentar a maior produtividade entre os tratamentos avaliados (Tabela 1). Esses resultados demonstram que a maximização da produção por unidade de área não está necessariamente associada à aplicação das maiores lâminas de irrigação. Esse resultado sugere que, nas condições edafoclimáticas do presente estudo, a reposição integral da demanda evaporativa não foi necessária para maximizar o crescimento vegetativo da alface. Trabalhos recentes têm demonstrado que reduções moderadas na lâmina de irrigação podem manter a produtividade de hortaliças quando o déficit hídrico é controlado e aplicado em períodos de menor sensibilidade fisiológica, aumentando a eficiência do sistema sem comprometer significativamente o rendimento (Al-Karaki; Othman, 2023).

O excesso de água pode manter o solo próximo à saturação por períodos prolongados, reduzir a aeração da zona radicular e favorecer perdas por percolação profunda. Além disso, a aplicação de volumes superiores à necessidade da cultura aumenta o tempo de funcionamento do sistema de irrigação, o consumo energético e os custos operacionais, sem garantia de retorno produtivo equivalente. Entre os manejos avaliados, a reposição de 75% da ETo apresentou o melhor equilíbrio entre produtividade e economia de água. Esse tratamento associou a maior produção de massa fresca, de 24,33 t ha⁻¹, à redução de 23,1% da água de irrigação em relação à reposição de 100% da ETo. Dessa forma, pode ser considerada uma estratégia tecnicamente promissora para condições em que se busca preservar o potencial produtivo da cultura e, simultaneamente, racionalizar o consumo hídrico.

Por outro lado, a reposição de 50% da ETo mostrou-se relevante em cenários de maior restrição hídrica. Embora tenha apresentado produtividade inferior à do tratamento com 75%, proporcionou a maior economia de água e a maior produtividade da água. Assim, a escolha entre as reposições de 50 e 75% deve considerar os objetivos do sistema produtivo, a disponibilidade de recursos hídricos e a prioridade atribuída à produtividade por área ou à eficiência no uso da água à cultura, constituindo um indicador mais abrangente que a análise isolada da produtividade. Pereira, Cordery e Iacovides, (2012) ressaltam que a eficiência do uso da água tornou-se um dos principais indicadores de sustentabilidade da agricultura irrigada, sobretudo em regiões sujeitas à escassez hídrica. Segundo os autores, sistemas que produzem maior quantidade de biomassa por unidade de água apresentam maior resiliência e menor custo operacional.

FAO (2023) destaca que estratégias voltadas ao aumento da produtividade da água são uma das principais ferramentas para garantir a segurança alimentar diante das mudanças climáticas e da crescente competição pelo uso dos recursos hídricos. Os resultados obtidos evidenciam que a definição da lâmina de irrigação deve considerar não apenas o potencial produtivo da cultura, mas também a eficiência do uso da água. Em propriedades familiares, onde a disponibilidade hídrica e os custos frequentemente representam fatores limitantes,

estratégias de irrigação deficitária podem aumentar a sustentabilidade econômica e ambiental da produção.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A adoção de estratégias de manejo hídrico com reposições inferiores a 100% da ETo pode aumentar a eficiência do uso da água na cultura da alface, sem reduzir expressivamente a produtividade nas condições avaliadas. A reposição de 75% da ETo apresentou o melhor equilíbrio entre produtividade e economia de água, enquanto a reposição de 50% da ETo proporcionou a maior produtividade da água, evidenciando o potencial da irrigação deficitária como estratégia promissora para otimizar o uso dos recursos hídricos. Dessa forma, a utilização de indicadores de eficiência do uso da água mostrou-se uma ferramenta importante para subsidiar o manejo da irrigação, contribuindo para sistemas de produção mais sustentáveis e resilientes.

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais - FAPEMIG, pelo apoio financeiro do Processo APQ-01937-21, Edital N° 001/2021 - Demanda Universal.

REFERÊNCIAS

- AL-KARAKI, G. N.; OTHMAN, Y. Effect of foliar application of amino acid biostimulants on growth, macronutrient, total phenol contents and antioxidant activity of soilless grown lettuce cultivars. **South African Journal of Botany**, Amsterdam, v. 154, p. 225–231, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2023.01.034>. Acesso em: 30 jul. 2026.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 1998. 300 p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56).
- FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **The State of Food and Agriculture 2023: revealing the true cost of food to transform agrifood systems**. Rome: FAO, 2023.
- FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS; UNESCO – UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION. **United Nations World Water Development Report 2024: Water for Prosperity and Peace**. Paris: UNESCO, 2024.
- FERERES, E.; SORIANO, M. A. Deficit irrigation for reducing agricultural water use. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 58, n. 2, p. 147–159, 2007.
- GEERTS, S.; RAES, D. Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 96, n. 9, p. 1275–1284, 2009.
- PEREIRA, L. S.; CORDERY, I.; IACOVIDES, I. **Improved indicators of water use performance and productivity for sustainable agricultural water management**. Boca Raton: CRC Press, 2012.

QUEIROZ, M. G. de; REIS, J. C. dos; PERCILIANO, Y. A.; ARAUJO, T. H. de; HONÓRIO, I. C. G.; BRITO, R.; FRANCO, A. A. N.; ORMOND, A. T. S.; APPROBATO, A. U. Uso de plasticultura na cultura da alface submetida a diferentes lâminas de irrigação. **Caderno Pedagógico**, Lajeado, v. 22, n. 6, e15884, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.54033/cadpedv22n6-277>. Acesso em: 25 jul. 2026.