

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

LETÍCIA FONSECA ANÍCIO DE BRITO

**PRODUÇÃO DA ALFACE (*Lactuca Sativa L*) SOB NÍVEIS DE IRRIGAÇÃO E
PRESENÇA DE HIDROGEL**

VIÇOSA – MG

2025

LETÍCIA FONSECA ANÍCIO DE BRITO

**PRODUÇÃO DA ALFACE (*Lactuca Sativa L*) SOB NÍVEIS DE IRRIGAÇÃO E
PRESENÇA DE HIDROGEL**

Relatório final, apresentado a Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências para a obtenção do título de Engenheira Agrícola e Ambiental.

Orientadora: Catariny Cabral Aleman

VIÇOSA – MINAS GERAIS

2025

LETÍCIA FONSECA ANÍCIO DE BRITO

**PRODUÇÃO DA ALFACE (*Lactuca Sativa L*) SOB NÍVEIS DE IRRIGAÇÃO E DOSES
DE HIDROGEL**

Relatório final, apresentado a Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências para a obtenção do título de Engenheira Agrícola e Ambiental.

APROVADA: 22 de janeiro de 2025.

Assentimento:



Documento assinado digitalmente
LETICIA FONSECA ANICIO DE BRITO
Data: 03/02/2025 11:08:19-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Letícia Fonseca Anício de Brito
Autora



Documento assinado digitalmente
CATARINY CABRAL ALEMAN PINA
Data: 04/02/2025 16:42:10-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Catariny Cabral Aleman
Orientadora

AGRADECIMENTOS

À Deus, por guiar meus passos e abrir meus caminhos;

A eu mesma, pela determinação, resiliência e dedicação em cada etapa desta graduação;

Aos meus pais, Dilza e Wemerson (*in memoriam*), por todo apoio, ensinamentos, carinho e amor durante a vida;

Ao meu irmão Vinícius, por me ensinar que, mesmo diante da descrença, é possível alcançar o objetivo;

Às minhas amigas Josiele Broëtto, Thayne Botelho e Ana Carolina Batalha, por serem minha maior fonte de apoio desde o início e acompanharem cada passo da minha jornada em Viçosa;

Aos meus amigos, por terem sido minha família e companhia em Viçosa, em especial à Amanda, pela convivência diária;

À Professora Catariny Cabral, pela constante orientação, confiança e apoio em todos os trabalhos desenvolvidos, por ser amiga e inspiração para continuar nesta jornada;

Aos amigos, que ajudaram diversas vezes na condução dos experimentos;

Ao José Antônio, colega e técnico da Área de Irrigação, pela constante disposição e prontidão em ajudar;

Aos grupos GESAI e PET.EAA por terem me dado a oportunidade de crescimento pessoal e profissional;

À Universidade Federal de Viçosa por tantos ensinamentos e alegrias;

Sem vocês nada disso seria possível, muito obrigada!

“A persistência é o caminho do êxito”.
(Charles Chaplin)

RESUMO

BRITO, Leticia Fonseca Anício, Universidade Federal de Viçosa, janeiro de 2025. **Produção da alface (*Lactuca Sativa L*) sob níveis de irrigação e presença hidrogel.** Orientadora: Catariny Cabral Aleman.

A alface (*Lactuca Sativa L*) é uma hortaliça de destaque na economia mundial e está entre as folhosas mais consumidas no Brasil, principalmente, *in natura*. É uma cultura sensível a variações climáticas e ao déficit hídrico. Alternativas para contribuir com a retenção de água no solo e redução da demanda de irrigação em diversas culturas vêm sendo estudadas, como por exemplo, o uso de polímeros hidroabsorventes, com o objetivo de reduzir o consumo de água para irrigação. Com isso, neste estudo objetivou-se avaliar, por meio de parâmetros morfofisiológicos, a resposta da alface americana cultivada sob diferentes níveis de irrigação com hidrogel. O experimento foi realizado na Área Experimental de Irrigação e Drenagem, localizada na Universidade Federal de Viçosa (UFV), no município de Viçosa-MG. Os trabalhos foram conduzidos em vasos de 14,3 L em ambiente protegido, com delineamento experimental inteiramente casualizado com quatro repetições. Os tratamentos foram quatro lâminas de irrigação de 25%, 50%, 75% e 100% da capacidade de vaso e duas doses de polímero hidroabsorvente (com e sem hidrogel). O manejo da irrigação foi diário e as lâminas necessárias para cada tratamento foram obtidas por meio da capacidade de vaso. As variáveis analisadas foram: número de folhas, altura de planta, massa fresca de folhas, índice de vegetação por diferença normalizada (Normalized Difference Vegetation Index-NDVI), comprimento de raiz, massa fresca de folhas, massa fresca de raiz, massa seca de folhas e massa seca de raiz. Durante o ciclo da cultura foram realizadas avaliações de número de folhas, NDVI e altura aos 11, 21, 32 e 42 dias após transplantio (DAT). Quando as plantas atingiram tamanho comercial foram colhidas e realizadas as avaliações de produção. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste “t” e análise de regressão em superfície de resposta, utilizando o software para análises estatísticas SAEG 9.1 UFV. Os resultados obtidos apontaram que os volumes de água acumulados variaram entre 3,89 L e 15,59 L para lâminas de 25% e 100% da capacidade de vaso sem hidrogel e entre 3,79 L e 15,11 L com hidrogel, para as mesmas lâminas. O número de folhas não diferiu na presença de hidrogel dentro de cada lâmina de irrigação. Na massa fresca, apenas a lâmina de 100% da capacidade de vaso apresentou diferença, com a ausência de polímero superando a presença. Os parâmetros massa seca de folhas, massa seca de raiz e comprimento de raiz não mostraram diferenças nos valores médios, indicando que o hidrogel não afetou esses parâmetros. De acordo com as equações de regressão a lâmina de irrigação e

o tempo de cultivo, são fatores com influência direta no desenvolvimento vegetal, especialmente na altura e número de folhas. Concluiu-se que, nas condições experimentais, a maior produção da cultura da alface foi atingida na combinação de lâmina de reposição diária de 100% da capacidade de vaso sem o uso de hidrogel, resultando em um maior número de folhas e massa fresca de folhas.

Palavras-chave: Manejo da água; Hortaliças; Polímeros; Retenção de água no solo.

ABSTRACT

BRITO, Leticia Fonseca Anício, Federal University of Viçosa, January 2025. **Production of lettuce (*Lactuca Sativa L*) under irrigation levels and presence of hydrogel.** Advisor: Catariny Cabral Aleman.

Lettuce (*Lactuca sativa L.*) is a prominent vegetable in the global economy and ranks among the most consumed leafy greens in Brazil, especially when eaten fresh. This crop is sensitive to climatic variations and water deficits. The agronomic characteristics of lettuce, such as its short cycle and high-water demand (FILGUEIRA, 2008), emphasize the need for strategies that promote the rational use of resources. Thus, determining the proper water demand by considering irrigation depth and frequency, soil water availability, and the efficiency of polymer use is essential for irrigation management that maximizes productive potential. Thus, this study aimed to evaluate, through morphophysiological parameters, the response of iceberg lettuce cultivated under different irrigation levels with hydrogel. The experiment was conducted in the Irrigation and Drainage Area at the Federal University of Viçosa (UFV), in Viçosa, Minas Gerais, Brazil. The experiments were conducted in 14.3 L pots in a greenhouse using a completely randomized design with four replications. The treatments consisted of four irrigation levels of 25%, 50%, 75% and 100% of the pot capacity and two hydro-absorbent polymer doses (with and without hydrogel). Irrigation management was performed daily, with the required water depths for each treatment determined based on pot capacity. The analyzed variables included the number of leaves, plant height, fresh leaf mass, normalized difference vegetation index (NDVI), root length, fresh root mass, dry leaf mass, and dry root mass. During the crop cycle, evaluations of number of leaves, NDVI, and plant height were performed at 11, 21, 32, and 42 days after transplanting (DAT). When the plants reached commercial size, number of leaves, NDVI, fresh leaf mass, fresh root mass, root length, dry leaf mass, and dry root mass were assessed. The data were subjected to variance analysis using the "t" test and response surface regression analysis with the SAEG 9.1 UFV statistical software. The results indicated that the accumulated water volumes ranged between 3.89 L and 15.59 L for irrigation levels of 25% and 100% of pot capacity without hydrogel and between 3.79 L and 15.11 L with hydrogel for the same irrigation levels. The number of leaves did not differ in the presence of hydrogel within each irrigation level. For fresh leaf mass, only the 100% pot capacity level showed a difference, with the absence of polymer outperforming its presence. The parameters dry leaf mass, root dry mass, and root length showed no differences in average values, indicating that hydrogel did not affect these parameters. According to the regression equations,

irrigation level and cultivation time are factors with a direct influence on plant development, particularly in terms of mass and number of leaves. It was concluded that, under the experimental conditions, the highest lettuce yield was achieved with the combination of 100% daily pot capacity irrigation without hydrogel, resulting in a greater number of leaves and fresh leaf mass.

Keywords: Water management; Vegetables; Polymers; Soilless water retention.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1	Produtividade de hortaliças e importância econômica	12
2.2	Uso de ambiente protegido para cultivo	12
2.3	Tipos de manejo de irrigação.....	13
2.3.1	Manejo via Clima	14
2.3.2	Manejo via Planta	14
2.3.3	Manejo via Solo.....	15
2.4	Uso de polímeros hidrorretentores na irrigação	15
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	17
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
5	CONCLUSÃO.....	28
	REFERÊNCIAS	29

1 INTRODUÇÃO

Pertencente à família Compositae, a alface (*Lactuca sativa* L.) é uma hortaliça folhosa de importância econômica mundial e uma das mais consumidas no Brasil (VALERIANO et al. 2018), com consumo principalmente in natura. Devido a isso sua produção comumente se concentra em áreas próximas aos locais de distribuição, com objetivo de reduzir a relação entre o tempo de consumo e colheita, mantendo assim a qualidade do produto final (COSTA; SALA, 2005). A produtividade mundial no ano de 2020 atingiu 27,7 milhões de toneladas em uma área de 1.226.370 hectares (FAO, 2022). No Brasil, a produção em 2021 foi de 59,9 mil toneladas, com o estado do Rio Grande do Sul sendo responsável pela maior produção com cerca de 1,9 mil toneladas colhidas (CONAB, 2021).

Argento (2024), Guedes (2024) e Rajiv & Kumari (2023) demonstram a eficiência hídrica do cultivo em ambientes protegidos, como estufas e casas de vegetação, especialmente em relação a hortaliças sensíveis as variações edafoclimáticas durante o cultivo, como a alface. De acordo com Çerez e Sahin (2023), o cultivo em ambiente protegido é uma alternativa para a situação de crise hídrica e variações edafoclimáticas. Nessa condição de cultivo, o consumo hídrico é reduzido na ordem de 20 a 40% com relação ao cultivo em campo. Segundo Bandeira et al. (2011) o cultivo em ambiente controlado permite uma gestão mais precisa da irrigação e do microclima, reduzindo perdas por evaporação e contribuindo para uma produção mais sustentável. Para culturas como a alface, que requerem frequentes irrigações devido ao seu sistema radicular superficial e à alta sensibilidade ao estresse hídrico, a redução no consumo de água pode representar ganhos importantes em eficiência e custo-benefício (KIZIL et al., 2012).

A estimativa da lâmina de água pode ocorrer via clima, solo ou planta. O manejo via solo consiste no monitoramento da umidade atual do solo e estabelecimento de uma umidade crítica para que seja realizada a irrigação. A curva de retenção de água no solo é fundamental para que seja estimada a capacidade de campo e utilizada para quantificação da lâmina de irrigação. No manejo via clima, consideram-se informações meteorológicas como a temperatura, umidade relativa do ar, radiação solar e velocidade do vento. Essas informações permitem obter a evapotranspiração que é sinônimo do consumo hídrico. Para o manejo de irrigação via planta, são considerados os atributos fisiológicos para definir o status hídrico (BERNARDO et al., 2019).

No manejo com níveis de irrigação variados na cultura do pepino, ao aplicar reposição hídrica de 80% da evapotranspiração da cultura (ETc) obteve-se valores mais altos de rendimento da cultura e produtividade hídrica quando comparada a reposição de 100% da

evapotranspiração da cultura, mantendo assim um rendimento satisfatório (ANJUM et al., 2022). Zhou et al. (2023) ao cultivar beringela sob déficit hídrico moderado (60% a 70% da capacidade de campo) concluíram que o método melhorou significativamente o rendimento e a qualidade da beringela, particularmente quando combinado com a aplicação média de 270 kg/ha de nitrogênio, obtendo um aumento de cerca de 34% em relação ao tratamento controle. O estudo também mostrou uma maior produtividade da água, com aumentos variando de 11,27% a 42,48% nos dois anos de experimentação.

Além do manejo convencional, que considera o monitoramento do solo, do clima e da planta, algumas alternativas podem contribuir para melhorar os resultados do manejo de irrigação em campo ou ambiente protegido. Os polímeros hidrorretentores, também denominados como hidrogéis, são materiais sintéticos derivados do petróleo e que se constituem de redes poliméricas tridimensionais, onde são capazes de absorver água dentro de sua estrutura (WANG; GREG, 1990). Na agricultura irrigada, o hidrogel é utilizado como um condicionador de solo que objetiva aumentar a capacidade de retenção, propiciando assim o uso mais racional dos recursos hídricos e viabilizando a melhoria da produtividade da cultura (ABOBATTA, 2018). Utilizando 4 dosagens de hidrogel natural na cultura da alface (0; 1,0; 2,0; 3,0 g por 600 g de composto de solo), Nunes (2019) concluiu que a dosagem de 3 gramas por 600 gramas de composto proporcionou a melhor economia de água.

As características agrônômicas da alface, como seu ciclo curto e elevada demanda por água (FILGUEIRA, 2008), reforçam a necessidade de estratégias que promovam o uso racional de recursos. Dessa forma, definir a demanda hídrica adequada considerando a lâmina e frequência de irrigação, a disponibilidade de água no solo e a eficiência do uso de polímeros, são fundamentais para um manejo de irrigação que contribua para o máximo potencial produtivo.

O aumento da demanda de produção de alimentos, a escassez de recursos hídricos e a necessidade de aumentar a eficiência do uso da água, contribuem para a ampliação de estudos relacionados ao uso de hidrorretentores na produção irrigada de hortaliças. Diante do exposto, objetivou-se avaliar a produção da alface americana cultivada sob diferentes lâminas de irrigação e à presença de polímero hidrorretentor.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Produtividade de hortaliças e importância econômica

Diversos negócios na horticultura brasileira são enquadrados no modelo de Agricultura Familiar. As propriedades de agricultura familiar representam mais de 76% do total dos empreendimentos de produção agropecuários e aquicultores nacionais, constituindo a base econômica de cerca de 90% das cidades brasileiras com população de até 20 mil habitantes (IBGE, 2017; FAO, 2016). O mercado brasileiro de hortaliças apresenta grande segmentação e diversificação, com o consumo e comercialização de diversas espécies olerícolas em diferentes regiões do país (EMBRAPA, 2023).

A produção brasileira de hortaliças no Brasil tem como responsáveis pelo maior volume de produção o tomate, a batata, a cebola, a cenoura, a batata doce e o alho. Este setor é responsável por cerca de 800 mil hectares cultivados (EMBRAPA, 2015). A região Sudeste é a principal produtora de olerícolas do Brasil. Na safra de 2021 os estados de Minas Gerais e São Paulo foram juntamente responsáveis por cerca de 43% da produção de tomate (IBGE, 2021).

A olericultura no Brasil é um mercado em crescente expansão em função de aumentos na produtividade. A produtividade de uma cultura agrícola pode ser definida como a relação entre a produção e o investimento, como insumos e terra, necessário para que ocorra esta produção (KEITH et al., 2024). No ano de 2023 a produção brasileira de hortaliças nas centrais de abastecimento analisadas foi de 4.770.520 toneladas, esta produção corresponde a uma alta de 4% em comparação com o ano de 2022 (CONAB, 2023).

No ano de 2022 foi identificada uma queda de -4,8% na comercialização de hortaliças dos subgrupos folha, flor e haste, queda de -0,7% em hortaliças raiz, bulbo e tubérculo e em rizoma a queda foi de -1,6% em comparação com o ano de 2021. Em contrapartida, em 2023 apenas o subgrupo folha, flor e haste apresentou diminuição de -1,3% em relação ao ano anterior. Este decréscimo foi devido principalmente a comercialização de repolho, espinafre, mostarda, acelga, brócolis e couve-flor, respectivamente. Nesta mesma comparação a alface não apresentou influência na queda (CONAB, 2023).

2.2 Uso de ambiente protegido para cultivo

O cultivo de culturas em um espaço total ou parcialmente fechado, como casas de vegetação e túneis, é conhecido como cultivo protegido (LAMMICHANE et al., 2023). Com

uso de ambiente protegido, é possível criar um microclima em que se é capaz de controlar parcialmente os efeitos adversos do clima, como ventos fortes, umidade, intensidade luminosa. Desta maneira permite-se a produção de culturas fora da época normal de cultivo, além de proporcionar um crescimento de plantas mais elevado, controle mais eficiente de pragas e doenças, aumento de produtividade e um produto final com melhor qualidade (SANTOS et al., 2010; FONTES et al., 2004; VIDA et al., 2004).

De acordo com Figueiredo (2011) o cultivo em ambiente protegido é uma ferramenta que pode auxiliar os produtores a obterem melhor produtividade e qualidade do produto, além da possibilidade de assegurar quanto a período de sazonalidade pois proporciona demasiado controle das condições edafoclimáticas. O cultivo protegido propicia uma importante diminuição na irradiação solar global, devido ao material utilizado na cobertura, normalmente polietileno com transmitância média de 62%. No entanto, pode haver um incremento na radiação difusa e maior umidade relativa do ar, permitindo assim uma maior expansão foliar da cultura (REIS et al., 2012).

Ao estudar a influência de tipos de tela de sombreamento na produção de diferentes cultivares de alface, Queiroga (2001) concluiu que ao usar tela branca para sombreamento foi possível obter maiores teores de massa seca e produtividade quando comparado com o uso de tela verde e preta.

Segundo Lamichhane et al. (2023) o cultivo protegido é benéfico para a produção e qualidade dos produtos para exportação, porém o uso inadequado do ambiente com altas temperaturas pode causar condições que beneficiam o desenvolvimento de doenças e pragas, o que pode prejudicar a saúde e rendimento da cultura.

2.3 Tipos de manejo de irrigação

O manejo eficiente da irrigação é essencial para a atividade agrícola, uma vez que considera tanto o momento ideal quanto a quantidade necessária de água para cada cultura, levando em consideração suas demandas hídricas específicas, que variam de acordo com o estágio de desenvolvimento (SILVA; NEVES, 2020). Mantovani et al. (2012) conceituam o termo ‘manejo da irrigação’ como a adoção de um conjunto de ações e técnicas com o objetivo de determinar quando e a quantidade de água para irrigar.

Conforme Bernardo et al. (2006), o manejo da irrigação busca aumentar a eficiência do uso da água e a produtividade da cultura minimizando os custos e mantendo condições favoráveis para o desenvolvimento da lavoura. Há aspectos importantes que devem ser levados

em consideração ao se tratar do manejo da irrigação, como qual o sistema de irrigação adotado e o sistema solo-água-planta-atmosfera.

Em ambientes áridos e com recursos hídricos limitados, o manejo da irrigação desempenha um papel importante na gestão de água ao levar em consideração fatores como os níveis de umidade do solo e o estágio da cultura (MAURYA et al., 2024). O manejo é de abordagem flexível, não rígida e todos os métodos de manejo necessitam de cálculos matemáticos (COELHO; SILVA, 2013).

2.3.1 Manejo via Clima

O manejo da irrigação via clima é um método indireto, que é realizado por meio da coleta de variáveis climáticas como temperatura, radiação solar, umidade relativa do ar, evaporação e vento. Estes dados podem ser obtidos através de estações meteorológicas com o objetivo de se estimar a evapotranspiração da cultura (E_{Tc}), obtida por meio da evapotranspiração de referência (E_{To}), corrigindo-se está de acordo com o coeficiente da cultura (K_c) que varia de acordo a cultura e estágio de desenvolvimento (MANTOVANI et al., 2012; SILVA et al., 2009).

A estimativa da E_{To} é possível através de variáveis e equações que variam de simples a complexas, as quais tem influência direta na acuidade da estimativa. Já a E_{Tc} pode ser obtida diretamente por meio de lisímetros, em sua maioria utilizados em pesquisas (PIRES et al., 2000). Já valores de K_c podem ser obtidos por dados disponibilizados pela FAO, em que apresenta um compilado de valores para as principais culturas (ALLEN et al., 1998).

Outra maneira de manejar as irrigações via clima é por meio da estimativa do Balanço Hídrico (BH) que pode ser definido como a contabilização da água no solo, analisando as entradas e saídas de água no sistema (VILLA et al., 2022).

2.3.2 Manejo via Planta

O manejo da irrigação via planta consiste em analisar os efeitos das condições ambientais diretamente na cultura. A folha é o principal componente da planta a ser avaliado, sendo possível a sua análise por meio de parâmetros como o potencial de água na folha, fluxo hídrico no caule, temperatura da folha, abertura dos estômatos e reflectância da cultura (NIKOLAOU et al., 2019).

O índice de estresse hídrico da cultura é um dos métodos mais difundidos quando se trata do manejo via planta, este considera a variação de temperatura da folha, do ar e o déficit de pressão de vapor do ar (SOUSA et al., 2011).

Os métodos de determinação da irrigação via planta são promissores, mas ainda instáveis, com sensores sensíveis a variações ambientais, além de possuírem custo elevado de manuseio complexo, utilizados geralmente em áreas de pesquisa (PIRES et al., 2000; SOUSA et al., 2011).

2.3.3 Manejo via Solo

O método gravimétrico pode ser definido como uma abordagem direta de determinação da umidade do solo, que envolve a coleta de amostras de solo e a realização de pesagens para calcular a umidade gravimétrica, comparando a massa de água presente na amostra com a massa de seus sólidos. Alternativamente, ao relacionar o volume de água com o volume total da amostra, é possível determinar a umidade volumétrica (TEIXEIRA et al., 2017).

No monitoramento da umidade via solo tem-se definidos limites de parâmetros como Capacidade de Campo (Cc), Ponto de Murcha Permanente (Pmp) e Fator de Disponibilidade de Água (f), a partir dos quais é possível avaliar o teor de água no solo. Para a determinação direta destes parâmetros é necessário retirar amostras de solo e posteriormente, em laboratório realizar o método padrão de estufa (MANTOVANI et al., 2012).

É possível determinar o teor de água no solo de maneira indireta e para isso existem diversos métodos e instrumentos, dentre eles tem-se sonda de nêutrons, blocos de gesso, TDR e tensiômetros (PIRES et al., 2000). O tensiômetro tem se destacado como um instrumento de uso crescente, que mede diretamente a tensão de água no solo e através dela é possível de maneira indireta determinar o percentual de água no solo (SILVA et al. 2017).

2.4 Uso de polímeros hidrorretentores na irrigação

Os hidrogéis, polímeros hidrorretentores ou polímeros hidroabsorventes podem ser entendidos como redes poliméricas tridimensionais, que consistem em cadeias de polímeros em que a água é o meio de dispersão (AHMED, 2015). Ao ser hidratado, formando assim um gel, o polímero pode ter seu volume aumentado em até 200%, o que auxilia na melhoria da disponibilidade de água para a planta, uma vez que este libera gradativamente a água retida (BENETT et al., 2015). Venturoli e Venturoli (2011) constataram que os polímeros

hidroabsorventes colaboram para o aumento da retenção hídrica no solo, contribuindo assim para redução na frequência de irrigação.

Navroski (2015) ao estudar o uso do hidrogel incorporado ao substrato para produção de mudas de eucalipto constatou que o polímero contribuiu para melhoria nas características químicas e físicas do solo, sobretudo aquelas que se referem à capacidade de retenção de água. Santos et al. (2015) constataram que o uso de hidrogel no cultivo protegido da alface colaborou para uma maior eficiência no uso da água na irrigação. Ao testar o polímero em solo argiloso e arenoso pode concluir que o solo arenoso com baixas dosagens de hidrogel obteve menor produção quando comparado à produção na mesma dosagem em solo argiloso.

Nascimento et al (2021) avaliaram diferentes lâminas de irrigação e doses de hidrogel na cultura do tomateiro e constataram que o uso do hidrogel não apresentou diferença em nenhuma das características estudadas. Da mesma forma, o uso do polímero não teve influência nas variáveis analisadas no crescimento de plântulas de maracujazeiro-amarelo (FERNANDES et al., 2015).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em ambiente protegido na Área Experimental de Irrigação e Drenagem da Universidade Federal de Viçosa, localizada no município de Viçosa, Minas Gerais, Brasil, entre agosto e outubro de 2024. De acordo com a classificação climática de Koppen, o clima da região é do tipo Cwa (temperado úmido com inverno seco e verão quente), com precipitação anual de 1229 mm e temperatura média de 20,6 °C (MARTINS et al., 2018).

O solo utilizado foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo com uma densidade igual a 1,4 g cm⁻³ obtida seguindo recomendações da EMBRAPA (2011), teores de água equivalentes à capacidade de campo igual a 27,3%, obtido pelo método da bacia (BERNARDO et al., 2006) e ponto de murcha permanente igual a 18,9%, obtido por meio das curvas de retenção de água no solo, especificamente para a tensão de 1500 kPa, usando-se o extrator de Richards (RICHARDS, 1949). Na Tabela 1 são apresentados os resultados da análise granulométrica realizada no solo utilizado no ensaio.

Tabela 1 – Características granulométricas do solo utilizado no ensaio

	Areia	Silte	Argila
Unidade	%	%	%
Solo Área de Irrigação	36,26	10,14	53,6

Fonte: Autoras.

O experimento foi conduzido em vasos plásticos com capacidade de 14,3 litros, em esquema de parcelas subdivididas, sendo as parcelas, as 4 lâminas de irrigação de 100%, 75%, 50% e 25% da capacidade de vaso e as subparcelas, 2 doses de hidrogel (0 e 15 kg/ha) (ABRAÃO et al, 2020), no delineamento inteiramente casualizado (D.I.C.) com 4 repetições, totalizando em 32 unidades experimentais.

Para a realização do experimento, foi necessária a aquisição de mudas de alface americana que foram adquiridas em um viveiro localizado no município de Coimbra-MG próximo à cidade de Viçosa. A cultivar de alface utilizada foi a Santa Celeste, variedade de verão precoce, podendo chegar a ser colhida de 35 a 40 dias após a sementeira, dependendo das condições de clima e manejo. Antes de receber as mudas, cada vaso foi preenchido com 13,5 kg de solo peneirado e seco, 62 g de esterco bovino (1kg/m²) e 1 kg de brita ao fundo.

O transplântio foi realizado de maneira manual, com uma plântula por vaso, 7 dias após a aquisição das mudas (Figura 1). Utilizou-se o hidrogel da marca comercial Hidroterragel®, o qual foi incorporado manualmente nos vasos no momento do transplântio das mudas. Para a

aplicação do hidrogel, foi realizada a pesagem das dosagens e logo após foi feita a aplicação por dose de produto por vaso (0,092 g/vaso).

Figura 1 – Plantas de alface após serem transplantadas nos vasos para a condução do experimento



Fonte: Autora.

Para determinação da capacidade de vaso foi utilizada a metodologia proposta por Kämpf, Takane e Siqueira (2006). Quatro vasos foram preenchidos com 13,5 kg de solo peneirado e seco, 62 g de esterco bovino e 1 kg de brita e posteriormente foram saturados com água. Quando a drenagem de água dos vasos cessou, estes foram pesados e assim foi possível determinar a capacidade de vaso de 3,468 litros.

Durante os primeiros 4 dias após transplântio (DAT), os vasos foram mantidos próximos à capacidade de vaso, com o objetivo de assegurar o pegamento das mudas. Ainda, a lâmina de irrigação para todos os tratamentos foi baseada no peso médio de 4 vasos aleatórios. Após esse período, iniciou-se a variação das lâminas de irrigação conforme os tratamentos estabelecidos, aplicadas diariamente e manualmente com o uso de proveta.

O manejo da irrigação foi realizado diariamente pela manhã e a lâmina necessária para elevar o solo à capacidade de vaso de cada tratamento foi obtida através do valor médio da pesagem de 4 vasos do tratamento de 100% da capacidade de vaso de cada dose e por meio da Equação 1. As demais lâminas (25%, 50% e 75% da capacidade de vaso) foram calculadas proporcionalmente à lâmina de 100% da capacidade de vaso.

$$M_{\acute{a}gua} = M_{cv} - M_a \quad (1)$$

Em que: $M_{\acute{a}gua}$ é a massa de água aplicada, em g;

M_{cv} é a massa do vaso na capacidade de vaso, em g;

M_a é a massa do vaso, em g.

No decorrer do ciclo da cultura foram realizadas avaliações dos componentes morfológicos número de folhas, altura de planta e NDVI com 11, 21, 32 e 42 DAT. O número de folhas foi quantificado manualmente, a altura das plantas foi mensurada com régua graduada com precisão de 1 mm, e para o índice de vegetação foi utilizado o sensor GreenSeeker®. Este dispositivo emprega diodos emissores de radiação nas faixas do vermelho (660 nm) e do infravermelho próximo (780 nm). A reflectância é medida e processada por um microprocessador interno, que calcula o NDVI e transmite os dados para um computador portátil integrado ao sensor (TRIMBLE, 2022).

A colheita foi realizada quando se observou o ponto de colheita adequado para o mercado in natura, que para a alface é definido quando a planta está no estágio vegetativo, com folhas macias, sem sinais de pendoamento ou amargor. Para a alface americana, especificamente, deve-se verificar a firmeza da cabeça, pois tende a entrar em senescência rapidamente (INCAPER, 2013). Essa observação deu-se aos 48 DAT, após a colheita cada parte da planta foi alocada em sacos de papel identificados para posterior análise das variáveis de produção.

As variáveis analisadas na colheita foram os componentes morfológicos, o comprimento de raiz, o número de folhas, o NDVI, a massa fresca de folhas, a massa fresca de raiz e a massa seca de folhas e a massa seca de raiz.

As massas frescas de folhas e de raiz de cada planta foi determinada em balança analítica com precisão de 0,01g. O número de folhas, NDVI e altura foram mensurados como nas avaliações temporais. O comprimento de raiz foi mensurado por meio de régua graduada com precisão de 1 mm. Já as variáveis massa seca de folhas e massa seca de raiz, foram obtidas após 72 horas de permanência das amostras em estufa a 65° C até atingir peso constante, e posteriormente o material foi pesado em uma balança analítica (MAGALHÃES et al, 2015; OLIVEIRA et al., 2011).

Os dados coletados foram analisados por meio da metodologia da superfície de resposta (regressão). Os modelos foram escolhidos baseados na significância dos coeficientes de

regressão utilizando o teste t, adotou-se o nível de 10 % de probabilidade, no coeficiente de determinação (R^2) de ajuste e no comportamento do fenômeno em estudo. Utilizou-se para isso o software para análises estatísticas da Universidade Federal de Viçosa (2007) SAEG 9.1 UFV.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os volumes de água acumulados, referentes às irrigações realizadas no experimento, estão apresentados na Tabela 2, em que se observa uma variação de 3,89 L a 15,59 L nas lâminas de irrigação de 25% e 100% da capacidade de vaso sem hidrogel. Já, com o uso do polímero a variação foi de 3,79 L e 15,11 L nas mesmas lâminas de 25% e 100% da capacidade de vaso.

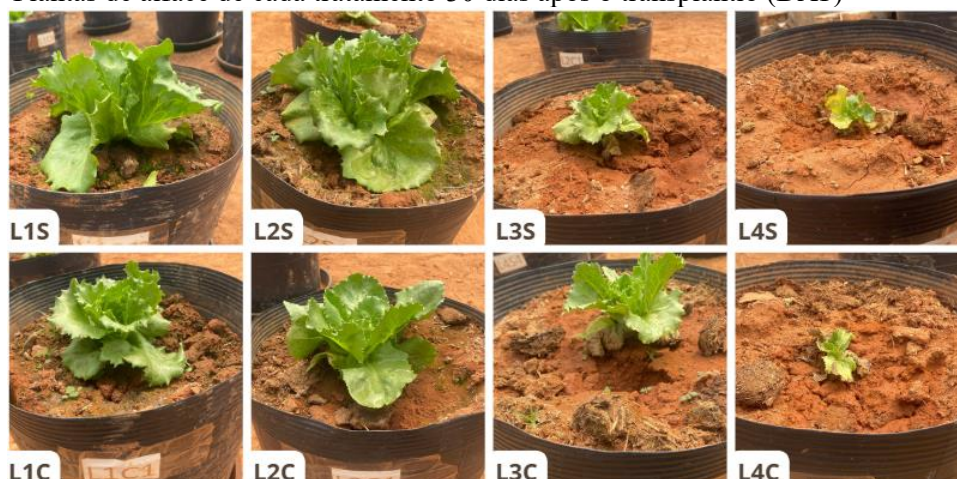
Tabela 2 – Volume total de água aplicada para cada tratamento utilizado no cultivo de alface americana sob presença de hidrogel em ambiente protegido no município de Viçosa-MG

Tratamento	Volume total (L)	
Lâmina de irrigação (%)	Sem hidrogel	Com hidrogel
25	3,89	3,77
50	7,79	7,55
75	11,69	11,33
100	15,59	15,11

Fonte: Autora.

Ao analisar os volumes totais de água consumidos pela cultura em cada lâmina de irrigação durante ciclo, nota-se na Tabela 2 que o uso do polímero resultou em uma economia no consumo de água de 3,08% no volume total de cada lâmina aplicada. A economia no consumo de água na cultura da alface também foi observada por Mendonça et al (2015) que constatou que o uso do hidrogel no cultivo de alface em ambiente protegido proporcionou economias de 10% e 14% de água em dois ciclos de cultivo da cultura. Para a eficiência do uso da água (EUA) calculada com base na massa fresca de folhas nota-se que a eficiência (0,216 g/L) só foi maior com a presença de hidrogel no nível mais deficitário de irrigação. O efeito do hidrogel de melhorar a capacidade de retenção de água no solo e com isso diminuir a demanda hídrica da cultura, foi observado por Kujuer et al. (2022) ao comparar o os efeitos do polímero em diferentes tipos de solo da região de Ranchi na Índia. Na Figura 2, estão apresentadas uma planta de cada tratamento aos 30 DAT.

Figura 2 – Plantas de alface de cada tratamento 30 dias após o transplante (DAT)



L1S – Lâmina de 100% da capacidade de vaso sem hidrogel; L2S – Lâmina de 75% da capacidade de vaso sem hidrogel; L3S – Lâmina de 50% da capacidade de vaso sem hidrogel; L4S – Lâmina de 25% da capacidade de vaso sem hidrogel; L1C – Lâmina de 100% da capacidade de vaso com hidrogel; L2C – Lâmina de 75% da capacidade de vaso com hidrogel; L3C – Lâmina de 50% da capacidade de vaso com hidrogel; L4C – Lâmina de 25% da capacidade de vaso com hidrogel

Fonte: Autora.

Na Tabela 3 são apresentados os valores médios para as variáveis número de folhas, massa seca de folhas, massa seca de raiz e comprimento de raiz para as respectivas combinações de lâminas de irrigação e presença de hidrogel. A análise dos resultados foi realizada de forma isolada para cada lâmina de acordo com a presença de hidrogel. Foram avaliados os aspectos qualitativos dentro da lâmina de irrigação para verificar se a presença do polímero garantiu a disponibilidade de água para a planta.

Tabela 3 – Valores médios de Número de Folhas (NF), Massa Seca de Folhas (MS), Massa de Seca de Raiz (RS) e Comprimento de Raiz (CR) para as respectivas combinações de lâminas de irrigação (L) e presença de hidrogel

L (%)	NF (unid)		MS (g)		RS (g)		CR (cm)	
	Sem hidrogel	Com hidrogel	Sem hidrogel	Com hidrogel	Sem hidrogel	Com hidrogel	Sem hidrogel	Com hidrogel
25	7,5a	8,0a	0,19a	0,08a	0,14a	0,19a	9,87a	10,12a
50	14,5a	13,5a	2,17a	1,27a	0,74a	0,48a	13,12a	14,77a
75	20,75a	20,00a	6,94a	13,21a	1,58a	1,23a	14,50a	16,12a
100	22,00a	20,75a	7,74a	7,21a	2,18a	2,34a	17,50a	13,87a

As médias seguidas de uma mesma letra na linha para cada variável não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de TUKEY

Fonte: Autora.

Para o parâmetro número de folhas, é possível observar que pelo teste de Tukey os valores médios não diferem entre si dentro de cada lâmina de irrigação analisada, o que sugere que o uso do hidrogel não apresentou um efeito evidente no número de folhas da cultura. Semelhante ao número de folhas, para massa seca de folhas, massa seca de raiz e comprimento

de raiz não são observadas distinções entre os valores médios dentro cada lâmina de irrigação testada no estudo, indicando que a dose de hidrogel não influencia nestes parâmetros da cultura. Fernandes et al. (2015) ao testar diferentes lâminas de irrigação com uso de hidrogel no crescimento de plântulas de maracujazeiro-amarelo concluíram que a adição do polímero como condicionador de solo não foi relevante, o que concorda com os resultados obtidos para número de folhas, massa seca de folhas, massa seca de raiz e comprimento de raiz. No uso de doses de hidrogel na produção de mudas de pimentão, foi constatado que o uso do polímero não provocou distinção no comprimento do sistema radicular da planta, corroborando com os resultados obtidos neste estudo (MARQUES; BASTOS, 2010).

Na Tabela 4 são apresentados os valores médios para as variáveis massa fresca de folhas e massa fresca de raiz para as respectivas combinações de lâminas de irrigação e presença de hidrogel. Análogo à Tabela 3, a análise dos resultados foi realizada de forma isolada para cada lâmina de acordo com a presença de hidrogel.

Tabela 4 – Valores médios de Massa Fresca de Folhas (MF) e Massa Fresca de Raiz (RF) para as respectivas combinações de lâminas de irrigação (L) e presença de hidrogel

L (%)	MF (g)		RF (g)	
	Sem hidrogel	Com hidrogel	Sem hidrogel	Com hidrogel
25	0,8225a	0,8150a	0,66a	0,67a
50	15,45a	8,70a	3,45a	2,32a
75	102,01a	72,18a	8,50a	6,56a
100	145,86a	107,25b	15,67a	11,15b

As médias seguidas de uma mesma letra na linha para cada variável não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de TUKEY.

Fonte: Autora.

Quanto aos valores médios de massa fresca de folhas e massa fresca de raiz listados na Tabela 4, notou-se que apenas a lâmina de 100% da capacidade de vaso indicou valor médio diferente, em que a ausência de polímero apresentou valores superiores à presença. Isso implica que, em condições de plena irrigação, o uso de hidrogel pode ocasionar redução das massas frescas de folha e raiz da alface. Monteiro Neto et al. (2023) concluíram que o uso do hidrogel na cultura da alface em variadas doses e métodos de aplicação não promoveu o desenvolvimento satisfatório da cultura, o que corrobora com os resultados obtidos de massa fresca de folhas, ao terem apresentado menor valor médio com a presença do polímero na lâmina de 100% da irrigação.

Na Tabela 5 estão apresentadas as equações ajustadas para cada variável analisada em que a lâmina de irrigação é em porcentagem. Para a variável número de folhas, observa-se que, para a ausência de hidrogel, há uma relação linear entre a lâmina de irrigação e o número de folhas,

ou seja, à medida que a lâmina aumenta, há um aumento proporcional no número de folhas. Já para a presença, similarmente, o efeito linear da lâmina de irrigação indica que a disponibilidade de água influencia diretamente no número de folhas.

Tabela 5 – Equações de regressão ajustadas de Número de Folhas (NF), Massa Fresca de Folhas (MF), Massa Seca de Folhas (MS), Massa Fresca de Raiz (RF), Massa de Seca de Raiz (RS) e Comprimento de Raiz (CR) em função das lâminas de irrigação - L (%) para presença e ausência de hidrogel e seus respectivos coeficientes de determinação (R^2)

DOSE	VARIÁVEL	EQUAÇÕES AJUSTADAS	R^2
Sem hidrogel	NF (unid)	$\hat{y}_i = 3,75 + 0,199*L$	0,9310
	MF (g)	$\hat{y}_i = -64,3787 + 2,0866*L$	0,9398
	MS (g)	$\hat{y}_i = -2,597 + 0,1097*L$	0,9345
	RF (g)	$\hat{y}_i = -5,44 + 0,2002*L$	0,9632
	RS (g)	$\hat{y}_i = -0,5812 + 0,0279**L$	0,9953
	CR (cm)	$\hat{y}_i = 7,6875 + 0,097**L$	0,9790
Com hidrogel	NF (unid)	$\hat{y}_i = 4,375 + 0,179*L$	0,9267
	MF (g)	$\hat{y}_i = 0,000005453 L^{3,699}$	0,9817
	MS (g)	$\hat{y}_i = 0,000001005 L^{3,5865}$	0,9090
	RF (g)	$\hat{y}_i = 0,0008725 L^{2,0509}$	0,9941
	RS (g)	$\hat{y}_i = 0,00055 L^{1,7887}$	0,9186
	CR (cm)	$\hat{y}_i = 1,95 + 0,3954**L - 0,00276**L^2$	0,9997

* - Significativo a 5% de probabilidade pelo teste “t”; ** - Significativo a 1% de probabilidade pelo teste “t”

Fonte: Autora.

Na Tabela 5, para os parâmetros massa fresca de folhas, massa seca de folhas, massa fresca de raiz e massa seca de raiz, na ausência de polímero, as equações ajustadas mostram um comportamento linear, o que indica que um aumento na lâmina de irrigação resulta em um aumento nos parâmetros. Para a dose com hidrogel, a equação ajustada foi potencial, sugerindo um aumento acentuado nas variáveis com o aumento da lâmina de irrigação.

Em relação ao comprimento de raiz, para a ausência de polímero, a equação ajustada indica que o comprimento de raiz aumenta de forma linear com a lâmina de irrigação. E, para a presença, a equação ajustada inclui um termo quadrático, mostrando uma relação em que o crescimento da raiz acelera até um ponto máximo e depois desacelera, este ponto de máximo é dado na lâmina correspondente a 71,6% da capacidade de vaso.

Estes resultados obtidos na Tabela 5 evidenciam a importância da irrigação no desenvolvimento da cultura e como ela afeta diferentes aspectos da planta, mostrando a influência da irrigação independente da dosagem de hidrogel.

Com base nos resultados apresentados na Tabela 6, pode-se observar que para a lâmina de irrigação de 50% da capacidade de vaso, os valores de NDVI são bastante similares entre as doses, isso indica que a presença ou ausência de hidrogel não apresentaram efeito na variável.

Do mesmo modo, para o parâmetro altura o uso do polímero não afeta a altura das plantas para esta mesma lâmina de irrigação.

Tabela 6 – Valores médios de Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) e Altura (ALT) para as respectivas combinações de lâminas de irrigação (L) e presença de hidrogel

L (%)	NDVI		ALT (cm)	
	Sem hidrogel	Com hidrogel	Sem hidrogel	Com hidrogel
50	0,33aB	0,32aB	5,62aB	5,50aB
75	0,68aA	0,63aA	10,75aA	9,62aA
100	0,68aA	0,65aA	12,00aA	10,12bA

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna para cada variável não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de TUKEY

Fonte: Autora.

Ainda pela análise da Tabela 6, para a lâmina de 75% da capacidade de vaso, os valores obtidos não apresentam diferença notável, ou seja, neste nível de irrigação, a presença hidrogel não impactou os resultados de NDVI e altura. Já para o nível de irrigação de 100% da capacidade de vaso, a presença de polímero não apresentou relevância para o parâmetro NDVI, entretanto, para a variável altura, foi observado que o valor médio para a ausência foi superior ao valor médio para presença de polímero, isso implica que a presença de hidrogel neste nível de irrigação, pode ter um efeito redutor na altura das plantas. Assim como neste estudo, Alves et al. (2019) concluíram que o uso do hidrogel não influenciou nos parâmetros avaliados em seu experimento, entre eles a altura de planta, em que a alface apresentou maior altura quando aplicada lâmina de 100% da capacidade de campo sem a adição de polímero.

Na Tabela 7 estão apresentadas as equações de regressão ajustadas de NDVI, altura de planta e número de folhas em função da lâmina de irrigação e do tempo após o transplântio para a presença e ausência de hidrogel.

Tabela 7 – Equações de regressão ajustadas de Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), Altura (ALT) e Número de Folhas (NF) em função de lâmina de irrigação - L (%) e dias após transplântio (DAT) para a presença e ausência de hidrogel e seus respectivos coeficientes de determinação (R²)

DOSE	VARIÁVEL	EQUAÇÕES AJUSTADAS	R ²
Sem hidrogel	NDVI	$\hat{y}_i = 0,06964 + 0,0050305^{**}DAT + 0,0028858^{**}L$	0,6734
	ALT (cm)	$\hat{y}_i = -0,5065 + 0,1449^{**}DAT + 0,05029^{**}L$	0,8187
	NF (unid)	$\hat{y}_i = 0,44582 + 0,1627^{**}DAT + 0,05524^{**}L$	0,6873
Com hidrogel	NDVI	$\hat{y}_i = 0,06432 + 0,004532^{**}DAT + 0,002620^{**}L$	0,6711
	ALT (cm)	$\hat{y}_i = -0,5693 + 0,1249^{**}DAT + 0,04892^{**}L$	0,7872
	NF (unid)	$\hat{y}_i = 0,7398 + 0,1277^{**}DAT + 0,05587^{**}L$	0,6170

* - Significativo a 5% de probabilidade pelo teste “t”; ** - Significativo a 1% de probabilidade pelo teste “t”

Fonte: Autora.

Os modelos de regressão ajustadas apresentados na Tabela 7, mostram predominantemente efeitos lineares do tempo e da lâmina de irrigação sobre as variáveis, o que indica uma relação direta e proporcional. Tem-se que para a variável NDVI, tanto a presença quanto a ausência de hidrogel apresentam coeficientes significativos, isso indica que tanto o fator tempo quanto o fator lâmina de irrigação contribuem para o índice de vegetação.

As equações ajustadas para a variável altura das plantas apresentam uma alta correlação com o tempo e a lâmina de irrigação, especialmente na ausência de polímero. Os coeficientes de determinação com valores mais altos reforçam a importância destes parâmetros no crescimento da alface. O número de folhas é afetado pelo tempo e pela lâmina de irrigação nos dois casos, o que indica que a disponibilidade de água ao longo do ciclo da cultura é crucial para o desenvolvimento foliar.

Uma hipótese para este experimento não ter apresentado resultados positivos para a utilização do hidrogel pode estar associado à dose de polímero utilizada de 15 kg/ha, esta pode ter sido insuficiente para apresentar respostas significativas em termos de parâmetros para análise de produção da cultura. Uma vez que, outros autores encontraram efeitos favoráveis ao uso do polímero, como Zomerfeld et al. (2021) que concluiu que o uso de 600 kg/ha de hidrogel associado a uma lâmina de irrigação de 50% da ETo no cultivo de rabanete proporcionou melhores resultados de produção e desenvolvimento da cultura. De maneira análoga, Cerasola et al. (2022) obtiveram resultado positivo quanto ao uso de polímero superabsorvente na cultura do tomate, permitindo um aumento no número de frutos produzidos.

Outra hipótese para o não incremento na produção da cultura na presença de polímero hidrorretentor, é a ocorrência de degradação do hidrogel devido à presença do fungo *Aspergillus niger*. Este tem potencial para biodegradar o poliacrilato de sódio, matéria prima do hidrogel utilizado neste estudo (SANDONATO, 2011). A presença deste microrganismo foi detectada em experimento realizado por Paiva et al. (2016) que objetivou avaliar a qualidade sanitária e fisiológica de sementes comerciais de alface e repolho. Esta hipótese foi reforçada após não ter sido possível identificar a presença do polímero no sistema radicular da planta de alface após sua remoção com 41 DAT (Figura 3).

Figura 3 – Sistema radicular da alface 41 dias após o transplante (DAT) sem presença de hidrogel



Fonte: Autora.

5 CONCLUSÃO

Concluiu-se que nas condições experimentais, a combinação que resultou na maior produção da alface americana foi o cultivo com reposição diária de 100% da capacidade de vaso sem o uso de hidrogel, este arranjo, resultou em um maior número de folhas e massa fresca de folhas.

Com as hipóteses criadas neste experimento, sugere-se posteriores estudos relacionados a biodegradação do hidrogel no solo e relacionados a dosagens de hidrogel ajustadas para a cultura da alface.

REFERÊNCIAS

- ABOBATTA, W. Impact of hydrogel polymer in agricultural sector. **Advances in Agriculture and Environmental Science**, v. 1, n. 2, p. 59-64, may. 2018. DOI: 10.30881/aaeo.00011. Acesso em: 5 nov. 2024.
- ABRAÃO, P. C.; JÚNIOR, J. B. D.; GUIMARÃES, V. F.; JÚNIOR, A. C. G.; COSTA, A. C. T. da; TSUTSUMI, C. Y.; ROSA, W. B.; QUEIROZ, S. B. Influência de Hidrogel em Caracteres Fitotécnicos da Soja. **Brazilian Journal of Development**, [s.l.], v. 6, n. 8, p. 54287–54303, ago. 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n8-007. Acesso em: 6 nov. 2024.
- AHMED, Enas M. Hydrogel: preparation, characterization, and applications. **Journal of Advanced Research**, [s.l.], v. 6, n. 2, p. 105-121, mar. 2015. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.jare.2013.07.006. Acesso em: 1 jan. 2025.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. (FAO Irrigation and Drainage Paper). Acesso em: 3 jan. 2025.
- ALVES, U. E.; PEREIRA, W. E.; NASCIMENTO, I. R. S.; SANTOS, J. P. O.; GONZAGA, K. S.; BULHÔES, L. E. L.; CARTAXO, P. H. A. Crescimento e produção da alface sob reposições hídricas e uso de polímero hidrorretentor. **Colloquium Agrariae**, v. 15, n. 6, p. 31-39, 2019. DOI: 10.5747/ca.2019.v15.n6.a333. Acesso em: 15 jan. 2025.
- ANJUM, M. S.; DATTA, A.; ASIF, M.; RAFIQUE, M. A. Effects of deficit irrigation and fertigation on growth, yield and water productivity of greenhouse-grown cucumber. **Science Letters**, v. 10, n. 3-4, p. 132022400, dez. 2022. Acesso em: 1 nov. 2024.
- ARGENTO, S.; GARCIA, G.; TRECCARICHI, S. Sustainable and low-input techniques in Mediterranean greenhouse vegetable production. **Horticulturae**, v. 10, n. 9, p. 997, set. 2024. DOI: 10.3390/horticulturae10090997. Acesso em: 2 nov. 2024.
- BANDEIRA, G. R.; PINTO, H. C. dos S.; MAGALHÃES, P. S.; ARAGÃO, C. A.; QUEIROZ, S. O.; SOUZA, E. R.; SEIDO, S. L. **Manejo de irrigação para cultivo de alface em ambiente protegido**. Horticultura Brasileira, v. 29, n. 2, p. 237-241, jun. 2011. DOI: 10.1590/S0102-05362011000200018. Acesso em: 5 nov. 2024.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa: Editora UFV, 2006. 625 p.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 9. ed. Viçosa: Editora UFV, 2019. 545 p.
- CERASOLA, V. A., PERLOTTI, L.; PENNISI, G.; ORSINI, F.; GIANQUINTO. Potential use of superabsorbent Polymer on drought-stressed processing tomato (*Solanum lycopersicum L.*) in a mediterranean climate. **Horticulturae**, v. 8, n. 8, p. 718-731, 2022. DOI: 10.3390/horticulturae8080718. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2311-7524/8/8/718>. Acesso em: 15 jan. 2025.

ÇEREZ, N. E.; ŞAHİN, M. Effects of irrigation water levels on lettuce yield and water use efficiencies under unheated greenhouse conditions. **Gesunde Pflanzen**, v. 75, p. 1315-1324, aug. 2023. DOI: 10.1007/s10343-022-00744-w. Acesso em: 3 jan. 2025.

COELHO, E. F.; SILVA, A. J. P. da. **Manejo, eficiência e uso da água em sistemas de irrigação**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2013. 28p. il. (Embrapa Mandioca e Fruticultura. Documentos, 206). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/967585/1/Doc206DrEugenio.pdf>. Acesso em: 25 dez. 2024.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira**. 2021. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras>. Acesso em: 26 dez. 2024.

CONAB. **Centrais de Abastecimento: comercialização total de frutas e hortaliças 2023**. 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras>. Acesso em: 26 dez. 2024.

COSTA, C. P.; SALA, F. C. Retrospectiva e tendência da alfacultura brasileira. **Horticultura Brasileira**, v. 30, n. 2, p. 187-194, jun. 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hb/a/CBjR93vn5NKt4Z9BLMWWYDJ/>. Acesso em: 10 out. 2024.

EMBRAPA. A cadeia produtiva de hortaliças e o valor bruto da produção. **Embrapa**, 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/78089493/artigo---a-cadeia-produtiva-de-hortalicas-e-o-valor-bruto-da-producao>. Acesso em: 2 jan. 2025.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/990374/1/ManualdeMtodosdeAnilisedeSolo.pdf>. Acesso em: 11 out. 2024.

EMBRAPA. **Produção de hortaliças para agricultura familiar**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. 6 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1020866>. Acesso em: 28 dez. 2024.

FAO. **Food and Agriculture Organizations of the United Nations**. Roma: FAO, 2022. Disponível em: <http://faostat.fao.org/>. Acesso em: 19 nov. 2024.

FAO. **Family farming: a global perspective**. Roma: FAO. 2016. Disponível em: <https://www.fao.org/family-farming/detail/en/c/454156/>. Acesso em: 08 jan. 2025.

FERNANDES, D. A.; ARAÚJO, M. M. V.; CAMILI, E. C. Crescimento de plântulas de maracujazeiro-amarelo sob diferentes lâminas de irrigação e uso de hidrogel. **Revista de Agricultura**, v. 90, n. 3, p. 229-236, dez. 2015. DOI: 10.37856/bja.v90i3.202. Acesso em: 5 jan. 2025.

FIGUEIREDO, G. Produção em ambiente protegido. **Revista Casa da Agricultura**. V. 14. n. 2, jun. 2011. Disponível em: https://www.cati.sp.gov.br/revistacasadaagricultura/06/RevistaCA_Producao_Ano14_n2.pdf. Acesso em: 05 jan. 2025.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 8 ed. Viçosa: Editora UFV, 2008. 421 p.

FONTES, P.C.R.; LOURES, J.L.; GALVÃO, J.C.; CARDOSO, A.A.; MANTOVANI, E.C. Produção e qualidade do tomate produzido em substrato, no campo e em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 3, p. 614-619, set. 2004.

GUEDES, I. M. R.; SILVA, J.; BRAGA, M. B.; SILVA, C. A. R.; FERNANDES JÚNIOR, F. Cultivo protegido de hortaliças em solo e em substrato. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 45, n. 326, p. 30-37, 2024.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo agropecuário 2017: resultados definitivos**. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/3093/censo_agropecuario_2017_resultados_definitivos.pdf. Acesso em: 28 dez. 2024.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção agropecuária**. Rio de Janeiro: IBGE, 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/alface/br>. Acesso em: 6 nov. 2024.

INCAPER. **Cultura da alface**. Vitória, ES: Incaper, 2022. 138 p.

KÄMPF, A. N.; TAKANE, R. J.; SIQUEIRA, P. T. V. **Floricultura: técnicas de preparo de substratos**. Brasília: LK Editora, 2006. 132 p.

KEITH, O.; FUGLIE, T.; HERTEL, D. B.; LOBELL, N. B.; VILLORIA, T. Agricultural productivity and climate mitigation. **Annual Review of Resource Economics**, v. 16, n. 1, p. 21-40, oct. 2024. DOI: 10.1146/annurev-resource-101323-094349. Acesso em: 26 dez. 2024.

KIZIL, Ü.; GENÇ, L.; INALPULAT, M.; ŞAPOLYO, D.; MIRIK, M. Lettuce (*Lactuca sativa* L.) yield prediction under water stress using artificial neural network (ANN) model and vegetation indices. **Žemdirbystė Agriculture**, v. 99, n. 4, p. 409-418, 2012.

KUJUR, A. N.; WADOOD, A.; KUMARI, P. Effect of Different Levels of Pusa Hydrogel on Soil Moisture Retention in Different Soil of Ranchi Region under Polyhouse Condition. **International Journal of Environment and Climate Change**, [S. l.], v. 12, n. 7, p. 1-9, 2022. DOI: 10.9734/ijecc/2022/v12i730696. Disponível em: <https://journalijecc.com/index.php/IJECC/article/view/711>. Acesso em: 15 jan. 2025.

LAMICHHANE, P.; ADHIKARI, J.; POUDEL, A. Protected cultivation of horticultural crops in Nepal: current practices and future need. **Archives of Agriculture and Environmental Science**, v. 8, n. 2, p. 268-273, jun. 2023. DOI: 10.26832/24566632.2023.0802025. Acesso em: 7 jan. 2025.

MAGALHÃES, F.; CUNHA, F.; GODOY, A.; SOUZA, E.; SILVA, T. Produção de cultivares de alface tipo crespa sob diferentes lâminas de irrigação. **Water Resources and Irrigation Management**, v. 4, p. 41-50, 2015. DOI: 10.19149/2316-6886/wrim.v4n1-3p41-50.

MANTOVANI, E.C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L.F. **Irrigação: princípios e métodos**. 3. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2012. 355p.

MARQUES, P. A. A.; BASTOS, R. O. Uso de diferentes doses de hidrogel para a produção de mudas de pimentão. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v. 3, n. 2, p. 53-57, 2010.

MARTINS, F. B.; GONZAGA, G.; SANTOS, D.; REBOITA, M. S. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite para Minas Gerais: cenário atual e projeções futuras. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 14, p. 129-156, 2018.

MAURYA, S. K.; KALHAPURE, A.; VERMA, V.; MAURYA, D.; KUMAR, M. Irrigation scheduling and cultivar management for increasing water productivity under dryland condition: a review. **International Journal of Environment and Climate Change**, v. 14, p. 461-470, 2024. DOI: 10.9734/IJECC/2024/v14i13856. Acesso em: 3 jan. 2025.

MENDONÇA, T. G.; QUERIDO, D. C. M.; SOUZA, C. F. Eficiência do polímero hidroabsorvente na manutenção da umidade do solo no cultivo de alface. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 9, n. 4, o. 239-245, 2015. DOI: 10.7127/rbai.v9n400312. Disponível em: https://www.inovagri.org.br/revista/index.php/rbai/article/view/312/pdf_227. Acesso em: 15 jan. 2025.

MONTEIRO NETO, J. L. L.; DE ALBUQUERQUE, J. de A. A.; SAKAZAKI, R. T.; CARMO, I. L. G. da S.; EVANGELISTA, M. O.; DA SILVA, A. A.; BRAZ, L. S. C.; PRATI JUNIOR, D. Métodos de aplicação e doses de hidrogel no cultivo de alface na savana de Roraima. **Contribuciones A Las Ciencias Sociales**, v. 15, n. 3, p. 1-11, 2020. DOI: 10.5039/agraria.v15i3a8139. Acesso em: 9 jan. 2025.

NAVROSKI, M. C.; ARAUJO, M. M.; FIOR, C. S.; CUNHA, F. F. S.; BERGHETTI, A. L. P.; PEREIRA, M. O. Hidrogel enables use of reduction of irrigation and improves the initial growth of Eucalyptus dunnii Maiden seedlings. **Scientia Forestalis**, v. 43, p. 467-476, 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/282929382_Hidrogel_enables_use_of_reduction_of_irrigation_and_improves_the_inicial_growth_of_Eucalyptus_dunnii_Maiden_seedlings. Acesso em: 9 jan. 2025.

NIKOLAOU, G.; NEOCLEOUS, D.; KATSOULAS, N.; KITTAS, C. Irrigation of greenhouse crops. **Horticulturae**, v. 5, n. 1, p. 7, 2019. DOI: 10.3390/horticulturae5010007. Acesso em: 12 jan. 2025.

NUNES, L. R. de L.; UCHÔA, C. do N.; BRAGA, R. C. Produção e efeitos do uso de hidrogel natural na cultura do alface. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 15, n. 4, 2019. ISSN: 1808-6845. DOI: 10.30969/acsa.v15i4.1068. Acesso em: 15 out. 2024.

PAIVA, C. T. C.; SILVA, J. B.; DAPONT, E. C.; ALVES, C. Z.; CARVALHO, M. A. C. Qualidade fisiológica e sanitária de sementes comerciais de alface e repolho. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, [S. l.], v. 14, n. 1, 2016. DOI: 10.5327/rcaa.v14i1.1410. Disponível em: <https://periodicos.unemat.br/index.php/rcaa/article/view/1410>. Acesso em: 15 jan. 2025.

PIRES, R. C. M.; SAKAI, E.; ARRUDA, F. B.; FUJIWARA, M.; CALHEIROS, R. **O. Métodos e manejo da irrigação**. 2000. 28p. Disponível em: <https://www.bibliotecaagptea.org.br/agricultura/irrigacao/livros/METODOS%20E%20MANEJO%20DA%20IRRIGACAO.pdf>. Acesso em: 4 jan. 2025.

QUEIROGA, R. C. F.; BEZERRA NETO, F.; NEGREIROS, M. Z.; OLIVEIRA, A. P.; AZEVEDO, C. M. S. B. Produção de alface em função de cultivares e tipos de tela de sombreamento nas condições de Mossoró. **Horticultura Brasileira**, v. 19, n. 3, p. 324–328, 2001. DOI: 10.1590/S0102-05362001000300006. Acesso em: 4 jan. 2025.

RAJIV S.; KUMARI, M. Protected cultivation of high-value vegetable crops under changing climate. **Advances in Research on Vegetable Production Under a Changing Climate**, v. 2, p. 229-266, jan. 2023. DOI: 10.1007/978-3-031-20840-9_11. Acesso em: 9 jan. 2025.

REIS, L. S.; MORAES, R. F.; BASTOS, C. E.; TEIXEIRA, M. C.; PEREIRA, L. M.; BARBOSA, R. F.; FERNANDES, J. C.; VALENÇA, J. S. Componentes da radiação solar em cultivo de tomate sob condições de ambiente protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, p. 739-744, 2012. DOI: 10.1590/S1415-43662012000700006. Acesso em: 4 jan. 2025.

SAEG - **Sistema para Análises Estatísticas**, versão 9.1. Viçosa: Fundação Arthur Bernades, 2007.

SANDONATO, B. B. **Método de avaliação e biodegradação do poliacrilato de sódio**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ecologia) – Instituto de Biociências – Rio Claro – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro, SP, 2011.

SANTOS, H. T. dos; CARVALHO, D. F. de; SOUZA, C. F.; MEDICI, L. O. Cultivo de alface em solos com hidrogel utilizando irrigação automatizada. **Engenharia Agrícola**, v. 35, n. 5, p. 852–862, 2015. DOI: 10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v35n5p852-862/2015. Acesso em: 7 jan. 2025.

SANTOS, L. L.; SEABRA JUNIOR, S.; NUNES, M. C. M. Luminosidade, temperatura do ar e do solo em ambientes de cultivo protegido. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, v. 8, p. 83-93, 2010. Disponível em: <https://agrogeoambiental.ifsuldeminas.edu.br/index.php/Agrogeoambiental/article/download/610/641/3432>. Acesso em: 5 jan. 2025.

SILVA, S.; NEVES, E. Importância do manejo da irrigação. **Enciclopédia Biosfera**, v. 17, n. 34, 2020. Disponível em: <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/2078>. Acesso em: 28 dez. 2024.

SILVA, V. P. R.; CAMPOS, J. H. B. C.; AZEVEDO, P. V. Water-use efficiency and evapotranspiration of mango orchard grown in northeastern region of Brazil. **Scientia Horticulturae**, v. 1, n. 120, p. 467-472, 2009.

SILVA, G. U. da; PARIZI, A. R. C.; GOMES, A. C. dos S.; PIVOTO, O. G.; PECCIN, M. D. Manejo de irrigação via solo e clima na cultura do milho (*Zea mays* L.) na região de Alegrete/RS. **Revista de Ciência e Inovação**, v. 2, n. 1, p. 101-112, 21 jul. 2017.

SOUSA, V. F.; MAROUELLI, W. A.; COELHO, E. F.; PINTO, J. M.; COELHO FILHO, M. A. **Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças**. Brasília: Embrapa, 2011. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/907498>. Acesso em: 7 jan. 2025.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 819 p.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 573 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1085209>. Acesso em: 28 dez. 2024.

TRIMBLE. **GreenSeeker Handheld Crop Sensor**. Colorado: Trimble Navigation Limited, 2022. Disponível em: ww2.agriculture.trimble.com/product/greenseeker-handheld-crop-sensor/. Acesso em: 28 jan. 2025.

VALERIANO, T. T. B.; SANTANA, M. J.; JESUS, M. V.; LEITE, S. U. D. Manejo de irrigação para a alface americana cultivada em ambiente protegido. **Nativa: Pesquisas Agrárias e Ambientais**, v. 6, n. 2, p. 118-123, 2018. DOI: 10.31413/nativa.v6i2.5024. Acesso em: 20 out. 2024.

VIDA, J.B.; ZAMBOLIM, L.; TESSMANN, D.J.; BRANDÃO FILHO, J.U.T.; VERZIGNASSI, J.R.; CAIXETA, M.P. Manejo de doenças de plantas em cultivo protegido. **Fitopatologia Brasileira**, v. 29, n. 4, p. 355-372, ago. 2004.

VILLA, B. de; PETRY, M. T.; MARTINS, J. D.; TONETTO, F.; TOKURA, L. K.; MOURA, M. B. de; SILVA, C. M. da; GONÇALVES, A. F.; CERVEIRA, M. P.; SLIM, J. E.; SANTOS, M. S. dos; BELLÉ, M. G.; JIMENEZ, D. H. Climatological water balance: a review. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 11, n. 6, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i6.26669. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/26669>. Acesso em: 10 jan. 2025.

VENTUROLI, F.; VENTUROLI, S. Recuperação florestal em uma área degradada pela exploração de areia no Distrito Federal. **Ateliê Geográfico**, v. 5, p. 183-195, 2011. DOI: 10.5216/ag.v5i1.13831. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/atelie/article/view/13831>. Acesso em: 10 jan. 2025.

WANG, Y. T.; GREGG, L. L. Hydrophilic polymers: their response to amendments and effect on properties of a soilless potting mix. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 115, n. 6, p. 943-948, 1990. DOI: 10.21273/JASHS.115.6.943. Acesso em: 9 nov. 2024.

ZHOU, C.; ZHANG, H.; YU, S.; CHEN, X.; LI, F.; WANG, Y.; WANG, Y.; LIU, L. Optimizing water and nitrogen management strategies to improve their use efficiency, eggplant yield and fruit quality. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, 2023. DOI: 10.3389/fpls.2023.1211122. Acesso em: 4 dez. 2024.

ZOMERFELD, P. S.; LIMA, N. B.; BISCARO, G. A.; MOTOMIYA, A. V. A.; BORELLI, A. B.; MONACO-MELO, K. A.; PAGLIARINI, M. K. Radish cultivation with hydrogel doses combined with different water slides in drip irrigation system. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 4, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i4.14394. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/14394>. Acesso em: 15 jan. 2025.