

PRODUTIVIDADE DA ALFACE CULTIVADA EM CAMPO E AMBIENTE PROTEGIDO EM RESPOSTA ÀS LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO E NÍVEIS SALINOS

Data de aceite: 02/05/2023

Márcio Aurélio Lins dos Santos,
Professor/Orientador do Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente, Campus de Arapiraca, UFAL;

Cinara Bernardo da Silva,
Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente, Campus de Arapiraca, UFAL;

Cícero Gomes dos Santos,
Professor/Orientador do Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente, Campus de Arapiraca, UFAL;

Daniella Pereira dos Santos Falcao,
Doutora pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, UFRPE;

Julianna Catonio da Silva,
Doutora pelo Programa de Pós-Graduação em Agronomia, CECA, UFAL;

Rayane Stefane da Silva Santos,
Engenheira Agrônoma pelo Curso de Agronomia, Campus de Arapiraca, UFAL;

Larissa Vasconcelos Santos,
Graduanda do Curso de Agronomia, Campus de Arapiraca, UFAL;

Maria Damiana Rodrigues Araújo,

Graduanda do Curso de Agronomia, Campus de Arapiraca, UFAL;

Maria Dayse Silva dos Santos,
Graduanda do Curso de Agronomia, Campus de Arapiraca, UFAL;

Kívia Caroline da Costa,
Graduanda do Curso de Agronomia, Campus de Arapiraca, UFAL; Mestranda do Curso de Agronomia, Campus de Arapiraca, UFAL;

Edson Magrine de Souza Cavalcante,
Graduando do Curso de Agronomia, Campus de Arapiraca, UFAL;

Aline dos Santos Curto,
Graduanda do Curso de Agronomia, Campus de Arapiraca, UFAL.

RESUMO: Objetivou-se avaliar, por meio da biometria e da produtividade, a resposta da alface a lâminas de irrigação e níveis salinos em condições de campo e em ambiente protegido. O delineamento foi em blocos ao acaso, 5 blocos, em esquema fatorial 5x5. Utilizou-se lâminas de irrigação: $L_1= 50$; $L_2= 75$; $L_3= 100$; $L_4= 125$ e $L_5= 150\%$ da ETc e níveis de água salina: $S_1= 0,12$; $S_2= 1,12$; $S_3= 2,12$; $S_4= 3,12$ e $S_5= 4,12$ mS cm⁻¹. As

variáveis avaliadas foram: altura de planta (AP), diâmetro da copa (DC), índice de área foliar (IAF), índice de número de folhas (INF), matéria fresca total (MFT), matéria seca total (MST), produtividade da alface (PA) e produtividade do uso da água na alface (PAA). Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e análise de regressão em superfície de resposta, utilizando o software estatístico R. Para a biometria, os melhores resultados foram observados para a variável AP em ambiente protegido e o DC em campo. O IAF tiveram melhores resultados em campo e a variável INF, em ambiente protegido. Para a PA, o cultivo em campo obteve os melhores resultados atingindo uma produtividade de 13,52 t ha⁻¹. Para as variáveis AP, DC, IAF, INF, MFT, MST e PA os melhores resultados foram obtidos para lâminas iguais ou superiores a 100% da ETc e a salinidade entre 0,12 e 1,12 mS cm⁻¹. Já a variável PAA teve comportamento decrescente com o aumento da lâmina de irrigação nos dois ambientes de cultivo.

PALAVRAS-CHAVE: *Lactuca sativa*. Consumo hídrico. Salinidade.

INTRODUÇÃO

A alface (*Lactuca sativa* L.), possui quantidades consideráveis de minerais e vitaminas A, B1, B2, B6 e C (BEZERRA et al., 2006; RIBEIRO, 2016). Destaca-se como a hortaliça folhosa mais importante do mundo sendo consumida principalmente in natura na forma de saladas (SALA; COSTA, 2012), incluindo todos os diversos tipos, como crespa, americana, lisa, romana, entre outras (ECHER et al., 2016). É de suma importância, principalmente, nos estabelecimentos familiares, por ocupar pequenas áreas de produção e produzir em curto espaço de tempo (NEVES et al., 2016). O consumo dessa hortaliça no país é aproximadamente de 1,3 kg por pessoa ao ano (IBGE, 2011).

No Brasil, o plantio da alface ocupa uma área de aproximadamente 35.000 hectares (SOUSA et al., 2014), as principais regiões produtoras de alface, são Ibiúna (MG), Mogi das Cruzes (MG), Mario Campos (MG), Caeté (MG) e Teresópolis (RJ), com 16.286 ha na safra de inverno e 22.873 ha na safra de verão (HORTIFRUTI BRASIL, 2018).

A produção de hortícolas está frequentemente associada à irrigação localizada. As hortaliças em sua maioria possuem 95% de água em sua constituição, onde o manejo de irrigação deve ser considerado prática importante para obtenção de alta qualidade e produtividade da cultura (TESTEZLAF; MATSURA, 2015; BERNARDO et al., 2013).

Nem toda a irrigação é feita com água de qualidade, já que este é um bem escasso, principalmente no Nordeste, os produtores acabam utilizando água de qualidade inferior, salinas, que quando manejada de forma inadequada pode ocasionar em grandes danos para as plantas. Na agricultura, que busca de forma intensa e criteriosa a sustentabilidade do sistema de produção, o uso racional da água tem se tornado um desafio (VALIATI et al., 2012).

O excesso de sais, contidos na água de irrigação, são responsáveis por aumentar as áreas degradadas e diminuir a produção das culturas. As plantas, quando submetidas

a estresse salino, podem apresentar diferentes respostas, sendo fenômeno extremamente complexo, envolvendo alterações morfológicas e de crescimento, além de processos fisiológicos e bioquímicos. As alterações no metabolismo induzidas pela salinidade são resultado de várias respostas fisiológicas da planta, dentre as quais se destacam as modificações no crescimento, comportamento estomático e capacidade fotossintética. Além de diminuir a produção agrícola da maioria das culturas (GARCIA et al., 2010; PAIVA, 2017; HU; SCHMIDHALTER, 2002).

O cultivo protegido pode ser de suma importância para a produção de hortaliças. As alfaces de cultivo protegido se destacam no mercado pela sua melhor qualidade e tem elevações das cotações superiores a alface convencional (CONAB, 2018).

Quando se trata de produção mundial de alface, é mais realizado o plantio em campo, em que participa com 45 milhões de toneladas a cada ano, liderando também as perdas pós-colheita. Com grande parte cultivada ao solo, a perecibilidade da cultura atinge valores superiores à 50% durante o processo de logística e comercialização (DALASTRA, 2017).

Objetivou-se avaliar, por meio da biometria e da produtividade, a resposta da alface a lâminas de irrigação e níveis salinos em condições de campo e em ambiente protegido.

METODOLOGIA

O experimento foi conduzido em condições de campo e em ambiente protegido, na área experimental da Universidade Federal de Alagoas, *Campus* de Arapiraca (9° 45' 09" S, 36° 39' 40" W, altitude de 325 metros). O clima da região foi classificado pelo critério de classificação de Köppen (1948) como do tipo 'As' tropical, com chuvas de inverno e seca de verão, com uma precipitação pluvial anual média de 854 mm. O solo utilizado nos experimentos foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico não salino e não sódico (EMBRAPA, 2018). A cultivar escolhida para a pesquisa foi a Alface lisa.

O delineamento foi em blocos ao acaso, com 5 repetições, em esquema fatorial 5x5, totalizando 125 unidades experimentais. Os tratamentos foram cinco lâminas de irrigação: $L_1= 50$; $L_2= 75$; $L_3= 100$; $L_4= 125$ e $L_5= 150\%$ da evapotranspiração da cultura (ETc) e cinco níveis de água salina com $S_1= 0,12$; $S_2= 1,12$; $S_3= 2,12$; $S_4= 3,12$ e $S_5= 4,12$ mS cm^{-1} . O nível salino S_1 , correspondeu ao controle e representava a condutividade elétrica da água do sistema de abastecimento local. Os demais níveis de sais da água de irrigação foram obtidos a partir do controle ($S_1= 0,12$ mS cm^{-1}) por meio da proposta por Richards et al. (1954), Equação 1:

$$Q=640 \cdot CEa \dots\dots\dots (1)$$

onde: Q = quantidade de NaCl adicionado a água (mg L^{-1}); CEa é a condutividade elétrica desejada da água (mS cm^{-1}).

O experimento de campo foi conduzido em canteiros de 5,0 m de comprimento

por 1,0 m de largura, altura de 0,25 m e espaçamento de 0,30 m entre canteiros, onde cada canteiro continha cinco parcelas de área útil de 1,0 m², contendo 15 plantas, sendo avaliadas apenas as três centrais; para o experimento em ambiente protegido utilizou-se 125 recipientes plásticos com capacidade para 4,0 L.

Utilizou-se a irrigação por gotejamento, com um gotejador por planta. Para calcular a lâmina a ser aplicada verificou-se a vazão dos gotejadores em cada lâmina, utilizando um recipiente plástico de volume conhecido. Após isso obteve-se um controle do tempo da água aplicada, em seguida foi determinado a vazão do sistema de irrigação e por fim, o cálculo de irrigação utilizando o sistema SLIMCAP (Sistema Lisimétrico de Informações para Monitoramento de Água pela Plantas) (SANTOS et al., 2020).

As irrigações foram feitas diariamente, com base no consumo de água das plantas obtida pelo sistema SLIMCAP. As lâminas obtidas equivalentes a 50; 75; 100; 125 e 150% da ETc foram respectivamente: 51,78; 77,67; 103,57; 129,46; e 155,35 mm (cultivo em campo) e 58,12; 87,18; 116,24; 145,30 e 174,36 mm (cultivo protegido).

Aos 30 dias após a aplicação dos tratamentos avaliou-se a altura de planta (AP), diâmetro da copa (DC), índice de área foliar (IAF), índice de número de folhas (INF), matéria fresca total (MFT), matéria seca total (MST), teor de água nas folhas (TAF), produtividade da alface (PA) e produtividade do uso de água da alface (PAA).

A AP (cm) e o DC (cm) são classificadas como variáveis biométricas, sendo mensuradas por uma régua. Já o IAF (m² m⁻²) e o INF (unidades m⁻²) são variáveis determinadas pela área de cultivo foram obtidos pelas Equações 2 e 3. Em que a área foliar foi obtida por meio do medidor de área foliar LI-COR, modelo LI-3100 AREA METER.

$$IAF=AFTAS \dots\dots\dots (2)$$

$$INF=NFTAS \dots\dots\dots (3)$$

onde: IAF = índice de área foliar (m m²); AFT = área foliar total das plantas contidas em 1 m² (m²); NFT = número total de folhas contidas em 1 m² (unidades m²); AS = área do solo cultivado (m²).

A MFT foi coletada em folha, caule e raiz, seguidamente o material foi aferido utilizando balança de precisão e colocado em estufa de circulação de ar a 65 °C até atingir peso constante, após a secagem, cada parte teve a sua matéria seca mensurada encontrando a MST.

Já para determinar o PA foi mensurada a matéria fresca da parte aérea (MFPA), ou seja, separada a parte comercial da raiz. Em seguida, calculou-se o produto do peso das folhas (MFPA) pelo total de plantas por hectare, Equação 4. A PAA foi determinada levando em consideração o consumo de água para produzir quilograma por área, Equação 5.

$$PA=MFPA \cdot Qp \cdot 10^{-6} \dots\dots\dots (4)$$

onde: PA = produtividade da cultura da alface (t ha⁻¹); MFPA = matéria fresca da parte (g); Qp = número de plantas por hectare.

$$PAA=PAL \cdot 103 \dots\dots\dots (5)$$

onde: PAA = produtividade do uso da água na alface (kg ha⁻¹ mm⁻¹); PA = produtividade da cultura da alface (t ha⁻¹); L = lâmina de irrigação (mm).

As variáveis MFT, MST, PA e PAA são as classificadas como produtivas, sendo essas de interesse comercial.

O método da pesquisa utilizado foi o quali-quantitativo, por meio de coleta e descrição de dados (PEREIRA et al., 2018). Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F ($p \leq 0,05$) e quando significativos para os fatores lâmina e salinidade isoladamente ou para interação entre os dois, realizou-se suas respectivas superfícies de resposta (gráficos persp.). Todas as análises e seus respectivos gráficos foram realizados utilizando o software estatístico R.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Resumo da análise estatística

O fator lâmina de irrigação foi significativo para variáveis: 1) campo: altura de planta (AP), diâmetro da copa (DC), índice de área foliar (IAF), índice de número de folhas (INF), matéria seca total (MST) e produtividade do uso de água da alface (PAA); 2) protegido: todas as variáveis. E a interação entre lâmina e salinidade teve efeito significativo para todas variáveis em ambos ambientes (Tabela 1).

Tabela 1. Resumo da análise de variância para altura de planta (AP), diâmetro da copa (DC), índice de área foliar (IAF), índice de número de folhas (INF), matéria fresca total (MFT), matéria seca total (MST), produtividade da alface (PA) e produtividade do uso de água da alface (PAA) da alface em resposta aos fatores lâminas (L) e salinidade (S) em cultivo de campo e protegido

Quadrado Médio: Ambiente Campo									
F.V.	G.L.	AP	DC	IAF	INF	MFT	MST	PA	PAA
L	4	4,77*	11,31*	0,325**	1270048*	374,4 ^{ns}	3,00***	5,07 ^{ns}	69040***
S	4	18,31***	59,26***	0,374**	4095708**	1011***	2,78***	15,55***	2742**
L x S	16	3,60*	15,31***	0,286***	1973228**	547,4***	1,54***	7,94**	1236,2*
Blocos	4	26,83	15,69	2,171	7490,23	736,7	2,66	10,58	1457,9
Erro	96	1,91	4,53	0,084	473,81	199,6	0,18	2,96	457,7
Total	124								
C.V. (%)		6,26	5,74	13,38	9,43	15,84	14,56	16,40	18,28

Quadrado Médio: Ambiente Protegido									
F.V.	G.L.	AP	DC	IAF	INF	MFT	MST	PA	PAA
L	4	59,57***	81,75***	1,613***	7251088***	2431,65***	4,258***	33,33***	13720***
S	4	14,84***	33,71***	0,500***	4578,51***	831,73***	15,487***	7,11***	772,1***
L x S	16	4,69***	10,31***	0,206***	991,55***	323,84***	3,221***	4,71***	479,4***
Blocos	4	3,02	24,55	0,046	425,45	32,96	0,423	0,88	72,0
Erro	96	1,51	3,01	0,041	351,26	41,88	0,526	0,46	42,6
Total	124								
C.V. (%)		5,69	4,88	9,49	7,77	8,41	11,81	8,52	8,62

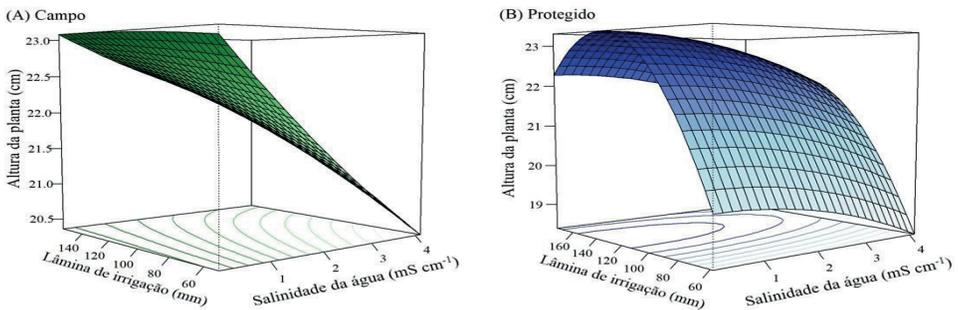
F.V. = fontes de variação, GL = graus de liberdade, *, **, *** e ^{ns}, significativos a 0.05, 0.01, 0.001 e não significativo, respectivamente, pelo teste F; C.V. = coeficiente de variação.

Fonte: Santos et al., 2020.

VARIÁVEIS BIOMÉTRICAS

Para a variável biométrica altura de planta (AP), os dados do campo e ambiente protegido, observou-se que para o campo a lâmina de irrigação de 155,35 mm e o nível de salinidade da água igual a 0,12 mS cm⁻¹ proporcionou a maior AP, 23,10 cm (Figura 1A e Equação 6). Já em ambiente protegido a AP foi de 23,31 cm, com qualidade de água 0,36 mS cm⁻¹ e lâmina de 134,06 mm (Figura 1B e Equação 7). Os valores de AP para ambos os ambiente foram semelhantes, com lâminas superiores a 100% da ETC e melhor resposta com boa qualidade da água, com baixo nível de salinidade, menor que 0,5 mS cm⁻¹.

Figura 1. Altura das plantas da alface em resposta a lâmina de irrigação e níveis de salinidade da água, cultivado em dois ambientes: campo (A) e protegido (B)



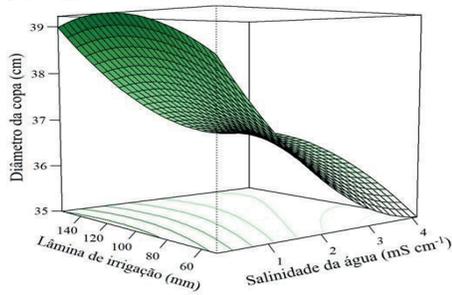
$$AP_{\text{campo}} = 22,96 + 0,0029*L - 1,009*S - 0,000011*L^2 + 0,035*S^2 + 0,0039*L*S \dots\dots\dots (6)$$

$$AP_{\text{protegido}} = 11,63 + 0,1742*L + 0,02627*S - 0,00065*L^2 - 0,077*S^2 + 0,00022*L*S \dots\dots\dots (7)$$

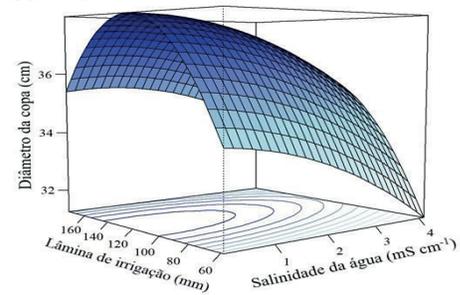
Fonte: Santos et al., 2020.

Na variável biométrica diâmetro da copa (DC) em campo obteve plantas com maiores copa (39,22 cm), com a lâmina de 118,5 mm e salinidade de 0,12 mS cm⁻¹(Figura 2A e Equação 8). A lâmina de irrigação de 121,11 cm, sendo a salinidade 0,37 mS cm⁻¹ a que proporcionou o maior diâmetro (37,95 cm) em ambiente protegido (Figura 2B e Equação 9).

(A) Campo



(B) Protegido



$$DC_{\text{campo}} = 36,86 + 0,043*L - 1,7565*S - 0,000182*L^2 + 0,188*S^2 + 0,0021*L*S \dots\dots\dots (8)$$

$$DC_{\text{protegido}} = 24,2 + 0,226*L - 0,276*S - 0,00093*L^2 - 0,1493*S^2 + 0,00316*L*S \dots\dots\dots (9)$$

Fonte: Santos et al., 2020.

As superfícies de resposta das variáveis AP e DC tiveram comportamentos quadráticos para duas variáveis, sendo semelhantes nos mesmos ambientes de cultivo, mas distintas entre eles quando observado na mesma variável, ou seja, as variáveis AP e DC tiveram curvas isoquantas semelhantes no cultivo de campo e protegido, mas distintamente quando a variável foi comparada entre os ambientes. Para o ambiente de campo as isoquantas apresentaram ponto de sela como ponto crítico (mudança de concavidade, não sendo possível calcular ponto de máximo ou mínimo), classificando as curvas como hipérbolas. Já o ambiente protegido apresentou curvas elipses, podendo ser determinado o ponto de máximo.

Resultados equivalentes no cultivo da alface foram obtidos por Silva (2017), em que observou o máximo de crescimento em relação à variável altura de planta na reposição hídrica 120%. Semelhantemente Magalhães et al. (2015), com lâmina de irrigação de 94% ETc teve máxima altura de planta, atingindo um valor de 26,1 cm.

Altas concentrações de sais diminuem o potencial osmótico na solução do solo, reduzindo dessa forma a disponibilidade de água das plantas, sendo que as culturas mais sensíveis, como a alface no caso, sofrem redução contínua na produção e componentes de produção a medida que as concentrações de sais aumentam (MAAS; HOFFMAN, 1977). Em termos absolutos, pode-se destacar a cultivar Verônica, pois apresenta maior altura média de planta em todos os níveis de salinidade, o que provavelmente deve estar relacionado às características genéticas desta cultivar (SANTOS et al., 2010).

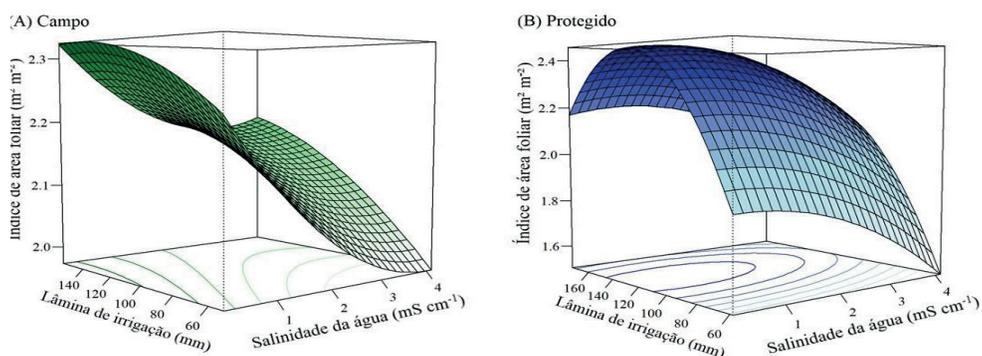
Di Mola et al., (2017) observaram que a cabeça da alface (diâmetro da cabeça) foram afetados significativamente pelos tratamentos de salinidades adotados, tal irrigação com água salina resultou em uma linear diminuição no crescimento das plantas, especialmente quando utilizou-se as salinidades de 7,2 dS m⁻¹, confirmando que a alface é uma cultura sensível a sais. Para a lâmina de irrigação ocorre um resultado inverso, Silva (2017), avaliando o crescimento e a produtividade da alface em função da reposição hídrica obteve

um modelo linear crescente, onde, na medida em que se aumentou a reposição hídrica, maior foi o diâmetro da planta, resultado inverso ao proporcionado pela salinidade. Viana (2012), constatou que durante o experimento as folhas da alface, em casa de vegetação, cresceram de maneira mais alongada, o que pode ter interferido diretamente no tamanho do dossel, apresentando resultados opostos a presente pesquisa, onde o campo proporcionou resultados superiores ao do ambiente protegido.

VARIÁVEIS DETERMINADAS PELA ÁREA DE CULTIVO

As variáveis que correspondem à resposta por área de cultivo foram determinadas pelo índice de área foliar (IAF) e índice de números de folhas (INF). A cultura da alface cultivada em campo obteve o maior índice de área foliar ($2,32 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$) com uma lâmina de irrigação de 142,5 mm e salinidade da água de $0,12 \text{ mS cm}^{-1}$ (Figura 3A e Equação 10). Já em ambiente protegido o que proporcionou um maior índice de área foliar na alface ($2,46 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$) foi a lâmina de 129,00 mm e a salinidade de $0,94 \text{ mS cm}^{-1}$ (Figura 3B e Equação 11). Em ambos os ambientes para obter maiores índice de área foliar foram necessários lâminas de irrigação maiores que 100% da ET_c com qualidade de água com salinidade da água menores que $1,00 \text{ mS cm}^{-1}$.

Figura 3. Índice de área foliar da alface em resposta a lâmina de irrigação e níveis de salinidade da água, cultivado em dois ambientes: campo (A) e protegido (B)



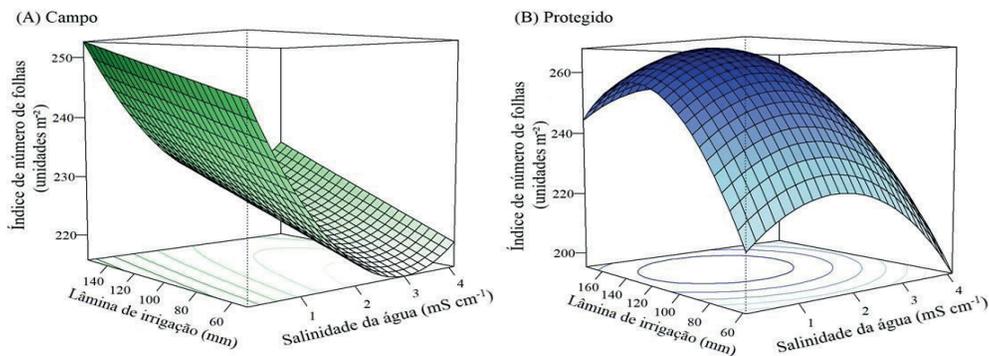
$$IAF_{\text{campo}} = 2,08 + 0,0036*L - 0,1465*S - 0,000013*L^2 + 0,016*S^2 + 0,0003*L*S \dots\dots\dots (10)$$

$$IAF_{\text{protegido}} = 0,457 + 0,0311*L - 0,00444*S - 0,000122*L^2 - 0,025*S^2 + 0,0004*L*S \dots\dots\dots (11)$$

Fonte: Santos et al., 2020.

Na variável índice de número de folhas (INF) a lâmina de 155,35 mm interagindo com uma salinidade de $0,12 \text{ mS cm}^{-1}$ proporcionou um maior índice de número de folhas em campo (Figura 4A e Equação 12). Já em ambiente protegido destacou-se a lâmina de 133,13 mm e salinidade de $1,61 \text{ mS cm}^{-1}$ (Figura 4B e Equação 13) obtendo os maiores INF iguais a 253 e 268 unidades por m^2 para o ambiente de campo e protegido, respectivamente.

Figura 4. Índice de número de folhas da alface em resposta a lâmina de irrigação e níveis de salinidade da água, cultivado em dois ambientes: campo (A) e protegido (B)



$$INF_{\text{campo}} = 241,59 + 0,0825 \cdot L - 20,71 \cdot S + 0,0000174 \cdot L^2 + 3,326 \cdot S^2 + 0,013 \cdot L \cdot S \dots\dots\dots (12)$$

$$INF_{\text{protegido}} = 115,997 + 2,0577 \cdot L + 18,42 \cdot S - 0,00764 \cdot L^2 - 5,12 \cdot S^2 - 0,0146 \cdot L \cdot S \dots\dots\dots (13)$$

Fonte: Santos et al., 2020.

Para as duas variáveis estudadas IAF e INF tiveram suas respectivas superfícies de resposta com curvas isoquantas hipérbolas (IAF-campo) e elipses (IAF-protegido, INF-campo e INF-protegido). Sendo as curvas elipses do INF-campo distintas do INF-protegido, a primeira com ponto crítico de mínimo e segunda de máximo (Figuras 3 e 4).

Taiz; Zeiger (2017) explicam que devido ao déficit hídrico causar decréscimo da produção da área foliar, fechamento dos estômatos, aceleração da senescência e abscisão das folhas. A área foliar é considerada de grande importância, visto que, é uma variável de crescimento indicativa da produtividade, o processo fotossintético depende da interceptação da energia luminosa e sua conversão em energia química, sendo este um processo que ocorre diretamente na folha (TAIZ; ZEIGER, 2017).

O decréscimo da área foliar em função do aumento da salinidade, está relacionado a um dos mecanismos de adaptação da planta ao estresse salino, diminuindo a superfície transpirante (TESTER; DAVENPORT, 2003). Paulus et al. (2012) afirmaram que há uma redução linear da área foliar com o aumento da salinidade.

Valeriano et al., (2016) notaram um aumento do número de folhas da alface conforme aumentou a lâmina de irrigação. Com relação a salinidade segundo Paulus et al. (2012) o número de folhas foi afetado pela salinidade da água. Viana et al. (2001) verificaram expressiva redução do número de folhas da alface com aumento da salinidade corroborando com a presente pesquisa. Souza (2017) observou o maior número de folhas na maior lâmina de água utilizada no experimento de 31,8mm.

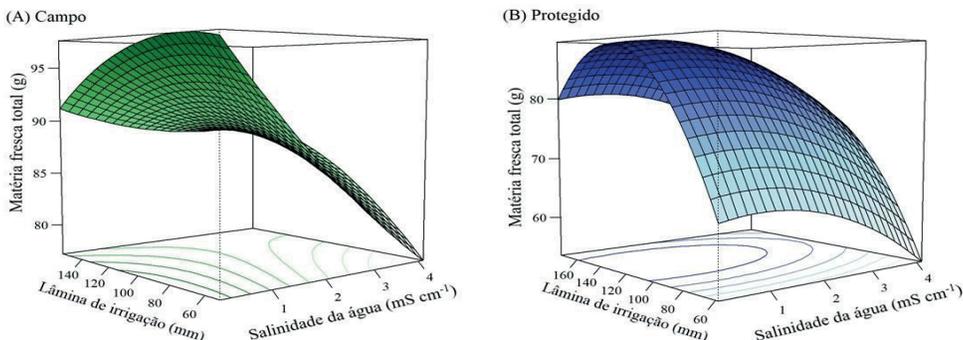
Variáveis produtivas

Em campo a MFT com a lâmina de 72,50 mm e salinidade de 0,12 mS cm⁻¹ atingiu valor máximo de 97,54 g (Figura 5A; Equação 14). Com relação a MST a lâmina de 119,44

mm com a salinidade de $1,77 \text{ mS cm}^{-1}$ alcançou um máximo de $3,48 \text{ g}$ (Figura 6A; Equação 16). Já em ambiente protegido a MFT e a MST, destacaram-se a lâmina de $131,98 \text{ mm}$ e salinidade de $0,98 \text{ mS cm}^{-1}$ (campo) e a lâmina de $103,18 \text{ mm}$ e salinidade de $0,12 \text{ mS cm}^{-1}$ (protegido) com os respectivos valores máximo de $90,04 \text{ g}$ e $7,20 \text{ g}$ (Figuras 5B e 6B; Equações 15 e 17).

O cultivo em campo a MFT obteve maior valor do que ambiente protegido. No entanto, ocorreu o inverso com a MST, sendo menor em campo, tal fato é devido o comportamento do teor de água na cultura obtido pela diferença entre a matéria fresca e seca pela área foliar (Figuras 5 e 6). Podem-se observar maiores contrastes para matéria fresca do que para seca em ambiente de campo em ambos os ambientes, onde ocorreu comportamento quadrático para todas variáveis, mas curvas isoquantas distintas, em que foram curvas elipses para MFT (protegido), MST (campo e protegido) e hipérboles para MFT (campo).

Figura 5. Matéria fresca total da alface em resposta a lâmina de irrigação e níveis de salinidade da água, cultivado em dois ambientes: campo (A) e protegido (B)

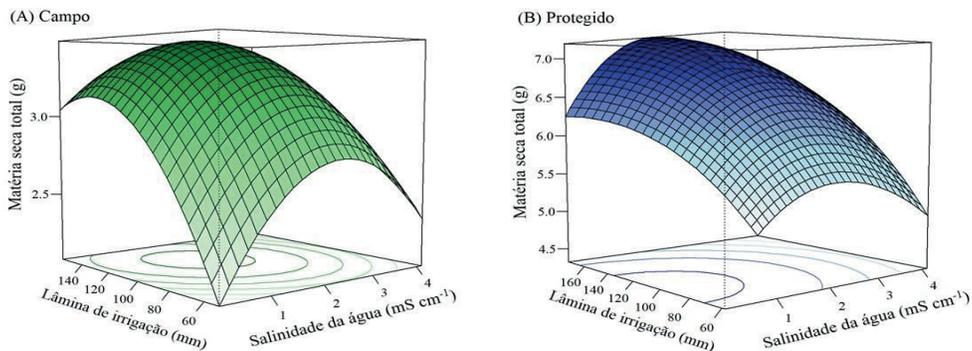


$$MFT_{\text{campo}} = 93,58 + 0,132*L - 8,716*S - 0,00094*L^2 + 0,355*S^2 + 0,0429*L*S \dots\dots\dots (14)$$

$$MFT_{\text{protegido}} = 8,997 + 1,213*L + 2,039*S - 0,0046*L^2 - 1,119*S^2 + 0,00122*L*S \dots\dots\dots (15)$$

Fonte: Santos et al., 2020.

Figura 6. Matéria seca total da alface em resposta a lâmina de irrigação e níveis de salinidade da água, cultivado em dois ambientes: campo (A) e protegido (B)



$$MST_{\text{campo}} = 0,18477 + 0,04347*L + 0,7844*S - 0,0001634*L^2 - 0,1369*S^2 - 0,0025*L*S \dots\dots\dots (16)$$

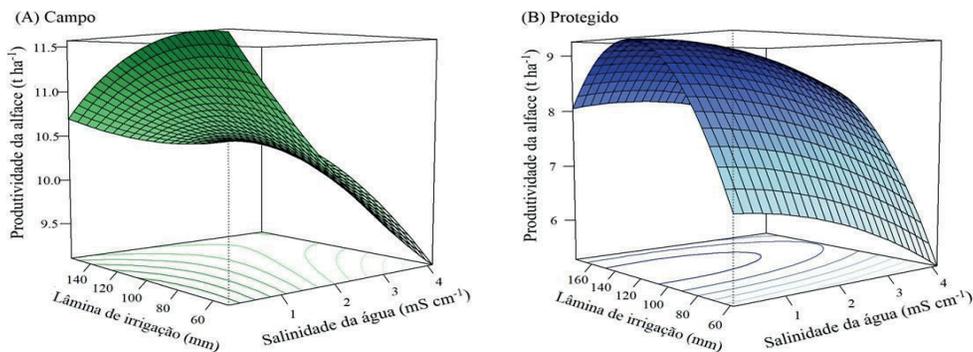
$$MST_{\text{protegido}} = 5,241 + 0,038*L + 0,0523*S - 0,000184*L^2 - 0,116*S^2 - 0,000232*L*S \dots\dots\dots (17)$$

Fonte: Santos et al., 2020.

Com relação à salinidade, Di Mola et al. (2017) relataram que peso fresco das folhas foram significativamente afetados pelos tratamentos de salinidade. Segundo Lucini et al., (2015); Roupheal et al. (2016) a irrigação com água salina teve efeito negativo no crescimento das plantas especialmente em 1,8; 3,6 e 7,2 mS cm⁻¹, confirmando que a alface é uma cultura sensível a sais. Porém, resultados opostos foram obtidos, em que a salinidade de 3,38 mS cm⁻¹ destacou-se dos tratamentos com menor teor de sair na água.

Para a variável produtividade da alface (PA), observou-se que para o ambiente campo a lâmina de irrigação e níveis de salinidade que indica maior produtividade foram iguais ao MFT campo, de 72,5 mm e de 0,12 mS cm⁻¹, respectivamente, no qual proporcionou uma produtividade de 11,59 t ha⁻¹ (Figura 7A e Equação 18). Já em ambiente protegido a produtividade foi de 9,21 t ha⁻¹, com qualidade de água 0,70 mS cm⁻¹ e lâmina de 128,41 mm (Figura 7B e Equação 19).

Figura 7. Produtividade da alface em resposta à lâmina de irrigação e níveis de salinidade da água, cultivado em dois ambientes: campo (A) e protegido (B)



$$PA_{\text{campo}} = 93,58 + 0,132*L - 8,716*S - 0,00094*L^2 + 0,355*S^2 + 0,0429*L*S \dots\dots\dots (18)$$

$$PA_{\text{protegido}} = 8,997 + 1,213*L + 2,039*S - 0,0046*L^2 - 1,119*S^2 + 0,00122*L*S \dots\dots\dots (19)$$

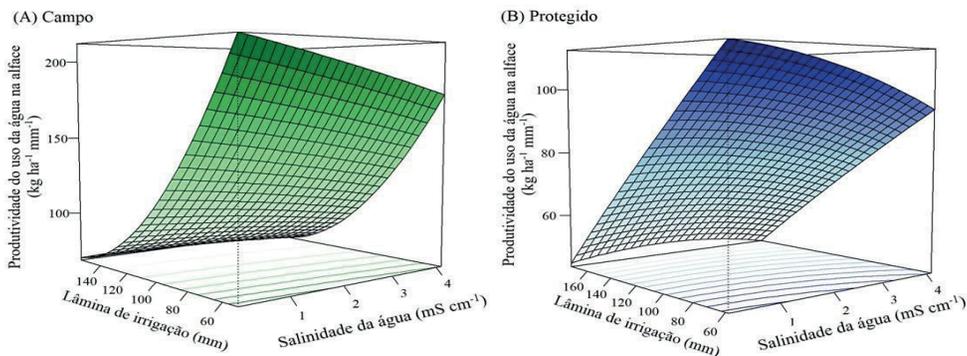
Fonte: Santos et al., 2020.

Para Putti (2014), a menor produção de matéria seca foi com a lâmina de 50% da ETc. Já Santos et al. (2015) trabalhando com alface em função de diferentes lâminas de água e tipos de adubo, onde as maiores médias para todas as variáveis foram encontradas na lâmina de 150% da ETc. Resultado semelhante com os dados obtidos na presente pesquisa. Paulus et al. (2010), com relação a salinidade, obteve resultado contrário, onde a massa seca da parte aérea decresceu linearmente em função dos níveis salinos.

A combinação de lâminas de irrigação e níveis de salinidade da água que obtêm maior produtividade do uso de água para a cultura da alface foi obtida com uso das menores lâminas para campo (51,78 mm) e protegido (58,12 mm), a menor salinidade (0,12 mS cm⁻¹) para ambos os ambientes, valores estes que proporcionaram produtividades no uso da água de 212,2 kg ha⁻¹ mm⁻¹ (campo) e 112,31 kg ha⁻¹ mm⁻¹ (protegido) (Figura 8; Equações 20 e 21). As lâminas e os níveis salinos influenciaram de forma decrescente na produtividade do uso da água na alface nos dois ambientes de cultivo (campo e protegido) com efeito da lâmina foi mais acentuado, ou seja, a cultura da alface tem alto teor de água o que acarreta na diminuição da produção de matéria fresca quanto ao consumo de água pela cultura da alface.

Com aplicação de lâminas superiores a mínima determinada, as plantas diminuem a produtividade no uso da água. As isoquantas evidenciam as combinações entre as lâminas de irrigação e os níveis de salinidade da água que resultam na mesma produtividade no uso da água para ambos os ambientes (Figura 8).

Figura 8. Produtividade do uso da água na alface em resposta a lâmina de irrigação e níveis de salinidade da água, cultivado em dois ambientes: campo (A) e protegido (B)



$$PAA_{\text{campo}} = 381,57 - 3,8816*L - 10,814*S + 0,0121*L^2 - 0,3459*S^2 + 0,0772*L*S \dots\dots\dots (20)$$

$$PAA_{\text{protegido}} = 143,32 - 0,5127*L - 3,291*S - 0,000315*L^2 - 0,81*S^2 + 0,03676*L*S \dots\dots\dots (21)$$

Fonte: Santos et al., 2020.

Além dos aspectos produtivos, é fundamental o conhecimento da produtividade de uso da água na agricultura irrigada, pois através dessa é possível determinar qual tratamento proporciona o maior aproveitamento da água pela planta, e também a viabilidade econômica da atividade (MEZZOMO et al., 2020).

Para Lima Júnior et al. (2010) a produtividade total máxima de alface foi estimada com uma lâmina de irrigação de 203,9 mm, com produtividade média de 65,58 t ha⁻¹; para a produtividade comercial da cabeça, o ponto máximo foi atingido com a lâmina de 204,3 mm, resultando em uma produtividade de 35,31 t ha⁻¹.

Magalhães et al. (2015) que realizaram um experimento com quatro lâminas de irrigação (50, 75, 100 e 125% da ETc) em três cultivares de alface tipo crespa, verificaram que de acordo com o aumento das lâminas de irrigação reduziu a eficiência do uso da água pela planta e aumentou a massa de matéria fresca da parte aérea. Efeito semelhante aos obtidos na presente pesquisa, já que a lâmina de 142,25% proporcionou o ponto máximo da produtividade da alface.

Corroborando com a pesquisa, Valeriano et al. (2016) afirma que os métodos escolhidos do manejo de irrigação influenciaram na produção de alface quando cultivada em ambiente protegido, aumentando a produtividade e melhorando a eficiência do uso da água. De acordo com Blanco et al. (1999) observaram, em ambiente protegido, redução de 17,5% na produtividade da alface, para cada incremento unitário na condutividade elétrica do extrato saturado, e que a salinidade aumentou a porcentagem de matéria seca na planta.

CONCLUSÕES

1. Para as variáveis biométricas os melhores resultados obtidos foram da altura de planta em ambiente protegido e do diâmetro da copa em campo, no qual tiveram comportamento oposto, ou seja, em campo a maioria das plantas apresentou um maior diâmetro da copa quando comparada com o ambiente protegido. Já o índice de área foliar tiveram melhores resultados em campo e o índice de número de folhas, em ambiente protegido;
2. Para as variáveis altura de planta, diâmetro da copa, índice de área foliar, índice de número de folhas, matéria fresca tota, matéria seca total e produtividade da alface os melhores resultados foram obtidos para lâminas iguais ou superiores a 100% da ETC e a salinidade entre 0,12 e 1,12 mS cm⁻¹, podendo ser usado água com salinidade de aproximadamente 1,0 mS cm⁻¹;
3. Para a produtividade da alface, o cultivo em campo obteve os melhores resultados atingindo um valor de 13,52 t ha⁻¹. No entanto, a produtividade do uso da água na alface teve comportamento decrescente com o aumento da lâmina de irrigação nos dois ambientes de cultivo.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a todos do Grupo de Pesquisa, Extensão e Inovação Tecnológica (Grupo Irriga) do Campus de Arapiraca da UFAL por todo apoio no desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. *Manual de irrigação*. 8. Ed. Viçosa: Ed. UFV, 2013.

BEZERRA NETO, F.; BARROS JÚNIOR, A. P.; SILVA, E. O.; NEGREIROS, M. Z.; OLIVEIRA, E. Q.; SILVEIRA, L. M.; CÂMARA, M. J. T.; & NUNES, G. H. S. Qualidade nutricional de cenoura e alface cultivadas em Mossoró-RN em função da densidade populacional. *Horticultura Brasileira*, Brasília, DF, 24(4), 476-480, 2006.

BLANCO, F. F.; MEDEIROS, J. F.; FOLEGATTI, M.V. Produção da alface (*Lactuca sativa* L.) em ambiente protegido sob condições salinas. In: *Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola*, 28, Pelotas. Anais... Pelotas: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1999.

CONAB. *Boletim Hortigranjeiro*, 4(2), Brasília, 2018.

DALASTRA, C. Nutrição e produção de alface americana em função da vazão, periodicidade de exposição e condutividade elétrica da solução nutritiva em sistema hidropônico. *Tese de Doutorado em Agronomia* - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP, 2017.

DI MOLA, I.; ROUPHAEL, Y.; COLLA, G.; FAGNANO, M.; PARADISO, R.; MORI, M. Morphophysiological Traits and Nitrate Content of Greenhouse Lettuce as Affected by Irrigation with Saline Water. *HortScience*, 52(12), 1716-1721, 2017.

ECHER, R.; LOVATTO, P. B.; TRECHA, C. O.; SCHIEDECK, G. Alfaca à mesa: implicações socioeconômicas e ambientais da semente ao prato. *Revista Thema*, 13(3), 17-29, 2016.

EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. *Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Solos*. 5ª. ed. Brasília, 2018.

GARCIA, G. O.; NAZÁRIO, A. A.; MORAES, W.B.; GONÇALVES, I. Z.; MADALÃO, J. C. Respostas de genótipos de feijoeiro à salinidade. *Engenharia na Agricultura*, 18(4), 330-338, 2010.

HORTIFRUTI BRASIL. *Anuário 2017-2018*. 16(174), 2018.

HU, Y.; SCHMIDHALTER, U. *Limitation of salt stress to plant growth*. In: Hock, B., Elstner, C.F. (Eds.), *Plant Toxicology*. Marcel Dekker Inc., New York, 91–224, 2002.

IBGE. Pesquisa de orçamentos familiares 2008- 2009: análise do consumo alimentar pessoal no Brasil/ IBGE, Coordenação de Trabalho e Rendimento. *Instituto brasileiro de geografia e estatística – Rio de Janeiro*, 2011.

KOPPEN, W. *Climatologia: com um estúdio de los climas de la tierra*. Publications In: *Climatology*. Laboratory of Climatology, New Gersey, 1948.

LIMA JÚNIOR, J. A. DE; PEREIRA, G. M.; GEISENHOF, L. O.; COSTA, G. G., VILAS BOAS, R. C.; YURI, J. E. Efeito da irrigação sobre o rendimento produtivo da alface americana, em cultivo protegido. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, (8), 797-803, 2010.

LUCINI, L.; ROUPHAEL, Y.; CARDARELLI, M.; CANAGUIER, R.; KUMAR, P.; COLLA, G. The effect of a plant-derived protein hydrolysate on metabolic profiling and crop performance of lettuce grown under saline conditions. *Scientia Hort*, v. 182, 124–133, 2015.

MAAS, E. V.; HOFFMAN, G. J. Crop salt tolerance - current assessment., *Proc. J. Irrig. And Drainage*, 103(2), 115-134, 1977.

MAGALHÃES, F. F.; DA CUNHA, F. F.; GODOY, A. R.; DE SOUZA, E. J.; DA SILVA, T. R. Produção de cultivares de alface tipo crespa sob diferentes lâminas de irrigação. *Instituto Nacional do Semiárido*, Campina Grande, PB, 4(1-3), 41-50, 2015.

MEZZOMO, W.; PEITER, M. X.; ROBAINA, A. D.; KIRCHNER, J. H.; TORRES, R. R.; PIMENTA, B. D. Produção forrageira e eficiência de utilização da água do capim sudão submetido a diferentes lâminas de irrigação. *Irriga*, Botucatu, 25(1), 143-159, 2020.

NEVES, J. F.; NODARI, I. D. E.; SEABRA JUNIOR, S.; DIAS, L. D. E.; SILVA, B. S. Produção de cultivares de alface americana sob diferentes ambientes em condições tropicais. *Revista Agro@mbiente On-line*, 10(2), 130-136, 2016.

PAIVA, F. I. G. Manejo da fertirrigação potássica e cálcica na cultura do tomateiro cultivadas em ambiente protegido e submetidas ao estresse salino. *Dissertação de Mestrado em Ambiente*. Universidade Federal do Semi-árido, Mossoró, RN, Brasil, 2017.

PAULUS, D.; DOURADO NETO, D.; FRIZZONE, J. A.; SOARES, T. M. Produção e indicadores fisiológicos de alface sob hidroponia com água salina. *Horticultura Brasileira*, 28(1), 29-35, 2010.

PAULUS, D.; PAULUS, E.; NAVA, G. A.; MOURA, C. A. Crescimento, consumo hídrico e composição mineral de alface cultivada em hidroponia com águas salinas. *Ceres*, 59(1), 110-117, 2012.

PEREIRA, A. S.; SHITSUKA, D. M.; PARREIRA, F. J.; SHITSUKA, R. *Metodologia da pesquisa científica*. Santa Maria, RS: UFSM, NTE, 2018.

PUTTI, F. F. Produção da cultura de alface irrigada com água tratada magneticamente. *Dissertação em Irrigação e Drenagem*. Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP, Botucatu, 2014.

RIBEIRO, H. F. Uso de imagens digitais na diagnose do teor de nitrogênio foliar em plantas de alface. *Dissertação de Mestrado em Agronomia* - Universidade Federal do Tocantins, Gurupi, 2016.

ROUPHAEL, Y., G. COLLA, L., BERNARDO, D., KANE, M., TREVISAN, L.; LUCINI. Zinc excess triggered polyamines accumulation in lettuce root metabolome, as compared to osmotic stress under high salinity. *Front. Plant Sci*, v.7, p. 842, 2016.

SALA, F. C.; COSTA, C. P. Retrospectiva e tendência da alfacicultura brasileira. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v. 30, p. 187-194, 2012.

SANTOS, L. A. Sistema lisimétrico de informações para monitoramento do consumo de água pelas plantas (SLIMCAP). *Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) em Agronomia*. Campus de Arapiraca, Universidade Federal de Alagoas, Arapiraca, 2020.

SANTOS, M. A. L.; SANTOS, D. P.; MENEZES, S. M.; LIMA, D. F.; VIEIRA, J. P. S. Produção da cultura da alface (*Lactuca sativa* L.) em função das lâminas de irrigação e tipos de adubos. *Ciência Agrícola*, Rio Largo, 13(1), 33-39, 2015.

SANTOS, R. S.; DANTAS, D. C.; NOGUEIRA, F. P.; DIAS, N. S.; NETO, M. F.; GURGEL, M. T. Utilização de águas salobras no cultivo hidropônico da alface. *Irriga*, Botucatu, 15(1), 111-118, 2010.

SILVA, A. R. Crescimento e a produtividade da alface em função da reposição hídrica. *Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) em Agronomia*. Areia, PB, 2017.

SOUZA, J. N. C. Produtividade da alface sob diferentes lâminas de irrigação em ambiente protegido. *Chapadinha-MA*, 2017.

SOUSA, T. P. DE; SOUZA NETO, E. P.; SILVEIRA, L. R. DE S.; SANTOS FILHO, E. F. DOS; MARACAJÁ, P. B. Produção de alface (*Lactuca sativa* L.), em função de diferentes concentrações e tipos de biofertilizantes. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 9(4), 168-172, 2014.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. 3. ed. *Artemed*, 719p. Porto Alegre, 2017.

TESTER, M.; DAVENPORT, R. Na⁺ tolerance and Na⁺ transport in higher plants. *Annals of Botany*, v.91, 503-527, 2003.

TESTEZLAF, R.; MATSURA, E. E. Engenharia de Irrigação: tubulações e acessórios. 1. ed. *Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP*, v. 1. 153p, Campinas, SP, 2015.

VALERIANO, T. T. B., DE SANTANA, M. J., MACHADO, L. J. M.; OLIVEIRA, A. F. Alface americana cultivada em ambiente protegido submetida a doses de potássio e lâminas de irrigação. *Irriga*, 21(3), 2016, p. 620.

VALIATI, I.; SANTOS, R. F.; ROSA, H. A.; WAZILEWSKI, W. T.; CHAVES, L. I.; GASPARIN, E. Eficiência da Irrigação na Cultura da Alface (*Lactuca sativa* L.). *Acta Iguazu*, Cascavel, 1(2), 53-66, 2012.

VIANA, E. P. T. Desempenho de cultivares de alface em diferentes condições ambientais. *Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola*. PPGEA, UFCG, Campina Grande, 2012.