

Produção de óleo essencial e acúmulo de solutos do manjeriço hidropônico sob estresse salino

Jamille Ferreira dos Santos¹ , Mauricio Antonio Coelho Filho² , Marcelo Teixeira Silva¹ , Helen Samara Almeida de Santana¹ , Gabriel Silva Magalhães Andrade¹ 

¹Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Rua Rui Barbosa, 710, 44380-000, Cruz das Almas, Brasil.

²Embrapa Mandioca e Fruticultura, Rua Embrapa, s/n Caixa Postal 07, 44380-000, Cruz das Almas, Brasil.

*Autor para Correspondência: jamilleferreira08@gmail.com

RESUMO: O objetivo do trabalho foi avaliar os efeitos da salinidade no teor e rendimento do óleo essencial e no acúmulo de solutos inorgânicos e orgânicos do manjeriço cv. Toscano Folha de Alface, em diferentes frequências de recirculação da solução nutritiva e sistemas hidropônicos. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3 x 2 + 1, onde o primeiro fator representa os níveis de NaCl (0, 40 e 80 mM) e o segundo fator as frequências de recirculação da solução nutritiva (4 ou 6 h) em sistema hidropônico DFT, e um tratamento adicional com solução nutritiva sem NaCl em sistema NFT. As variáveis analisadas foram teor e rendimento do óleo essencial, teores de Na⁺, Cl⁻, K⁺, razão K⁺/Na⁺, concentração de carboidratos solúveis, aminoácidos livres, proteínas solúveis e prolina livres. De um modo geral, a redução da frequência de recirculação da solução nutritiva para seis horas não ocasiona efeitos significativos nas variáveis analisadas; o teor e o rendimento do óleo essencial reduz gradativamente com o aumento da concentração de NaCl; a salinidade aumenta os teores de Na⁺, Cl⁻ e reduz os de K⁺ e a razão K⁺/Na⁺, nos órgãos das plantas avaliados; o acúmulo dos solutos orgânicos nas folhas e raízes do manjeriço é uma estratégia das plantas para reduzir os efeitos deletérios do NaCl; a escolha do sistema hidropônico DFT ou NFT não ocasiona alterações significativas nas variáveis analisadas.

Palavras chave: DFT, salinidade, *Ocimum basilicum*

ABSTRACT: Production of essential oil and the accumulation of solutes of the hydroponic basil under saline stress. The objective of this work was to evaluate the effects of salinity on the content and yield of essential oil and on the accumulation of inorganic and organic solutes of basil cv. Toscano Folha de Alface, at different recirculation frequencies of nutrient solution and hydroponic systems. The experimental design was completely randomized, in a factorial scheme 3 x 2 + 1, where the first factor represents NaCl levels (0, 40 and 80 mM) and the second factor the recirculation frequencies of the nutrient solution (4 or 6 h) in hydroponic DFT system, and an additional treatment with nutrient solution without NaCl in NFT system. The variables analyzed were essential oil content, Na⁺, Cl⁻, K⁺, K⁺ / Na⁺ ratio, soluble carbohydrate concentration, free amino acids, soluble proteins and free proline content. In general, reducing the recirculation frequency of the nutrient solution to six hours does not cause significant effects on the variables analyzed; The content and yield of the essential oil gradually reduces with increasing NaCl concentration; The salinity increases Na⁺, Cl⁻ contents and reduces K⁺ and K⁺ / Na⁺, in the organs of the evaluated plants; The accumulation of organic solutes in the leaves and roots of basil is a strategy of plants to reduce the deleterious effects of NaCl; The choice of the DFT or NFT hydroponic system does not cause significant changes in the analyzed variables.

Keywords: DFT, salinity, *Ocimum basilicum*

INTRODUÇÃO

O acúmulo de sais solúveis no solo é um fator limitante para o desenvolvimento e produtividade das plantas, em regiões áridas e semiáridas do mundo. No Brasil a salinização do solo é verificado em todo país, acontecendo especialmente na região

Nordeste, onde aproximadamente, 91.000 km² encontram-se afetados pela salinidade (Ribeiro et al. 2010), o que leva à busca de técnicas para uso mais eficiente da água e também para o aproveitamento de águas de qualidade inferior (Silva et al. 2016), como a água salina.

Recebido para publicação em 17/08/2017

Aceito para publicação em 15/12/2021

Data de publicação em 25/12/2021

ISSN 1983-084X

© 2019 Revista Brasileira de Plantas Medicinais/Brazilian Journal of Medicinal Plants.

This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

De acordo com algumas pesquisas, as plantas respondem à salinidade sequestrando íons tóxicos nos vacúolos e acumulando os solutos compatíveis no citoplasma para equilibrar a diminuição do potencial de água (Di Martino et al. 2003) e dessa forma realizar o ajuste osmótico (Willadino e Camara, 2010). Dentre os solutos orgânicos envolvidos neste ajuste, destacam-se os carboidratos solúveis e aminoácidos livres (Silva et al. 2009), as prolinas livres e as proteínas solúveis (Mendes et al. 2011). Contudo, apesar da importância dos solutos orgânicos e inorgânicos para a integridade celular das plantas submetidas ao estresse salino, estudos apontam para a redução da produtividade como consequência da toxidez iônica (Parirah et al. 2015).

Desse modo, ressalta-se a importância da adoção de práticas que visem minorar os efeitos do excesso de sais nas plantas, bem como permitir a produção agrícola de forma econômica. Nesse contexto, a técnica hidropônica tem se constituído em uma das tecnologias que possibilita o cultivo de plantas na presença de sais, isso porque neste sistema o potencial matricial tende a ser zero o que possibilita o aumento da disponibilidade da água para as culturas e o desenvolvimento destas, mesmo sob estresse salino (Santos Junior et al. 2011).

A maioria dos experimentos conduzidos em hidroponia com águas salina no Brasil tem focado em hortaliças folhosas como o coentro (Silva et al. 2016) e principalmente a alface (Cova et al. 2017). Apesar disso, Bione et al. (2014) relatam que outras culturas são importantes para a diversificação do cultivo hidropônico, como o manjeriço.

O manjeriço (*Ocimum basilicum* L.) pertencente à família Lamiaceae é uma planta medicinal, condimentar e aromática, com expressiva importância no cenário econômico mundial (Luz et al. 2014), destaca-se na produção de óleo essencial, que é bastante valorizado no mercado internacional pelo alto teor de linalol, metabólito secundário muito importante para a indústria de perfumaria e cosmético (Pereira e Moreira 2011).

Nesse contexto, o objetivo do trabalho foi avaliar os efeitos da salinidade no teor e rendimento do óleo essencial e no acúmulo de solutos inorgânicos e orgânicos do manjeriço cv. Toscano Folha de Alface em diferentes frequências de recirculação da solução nutritiva e sistemas hidropônicos.

MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida no período de janeiro a março de 2016, no laboratório de Fitoquímica e Bioquímica da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), no município de

Cruz das Almas, Bahia.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial $3 \times 2 + 1$, onde o primeiro fator representa os níveis de NaCl (0, 40 e 80 mM) adicionados à solução nutritiva e o segundo fator as frequências de recirculação da solução nutritiva (4 ou 6 h) em sistema hidropônico DFT, e um tratamento adicional com solução nutritiva sem NaCl em sistema NFT, perfazendo um total de 7 tratamentos e três repetições, em 21 unidades hidropônicas.

Avaliou-se o desempenho da cultivar Manjeriço Toscano Folha de Alface, por meio de semeadura em fibra de coco em copos plásticos de 80 ml. Após a emergência as mudas foram irrigadas com solução nutritiva, diluída a 50%, e após 21 dias foram transplantadas para o sistema hidropônico.

Foram utilizados os sistemas hidropônicos DFT, com declividade nula, e NFT com inclinação de 4% nos canais de cultivos. Os perfis hidropônicos foram confeccionados em tubulações de PVC com 75 mm de diâmetro, 6 m de comprimento. As plantas foram cultivadas no espaçamento de 0,40 m $\times$ 0,80 m, em ambos os sistemas hidropônicos.

A solução nutritiva utilizada seguiu a recomendação de Furlani (1998). Para preparar a água salina que compôs a solução nutritiva de alguns tratamentos, foi acrescentada na água de abastecimento (CE- 0,43 dS/m), diferentes quantidades (em gramas) de NaCl, desse modo os níveis de salinidade empregados foram de 0, 40 e 80 mM de NaCl, correspondentes a condutividades elétricas de 2, 6 e 10 dS/m, respectivamente, que representa o somatório da solução nutritiva com os níveis salinos.

A frequência de recirculação da solução nutritiva no sistema DFT foi realizada das 05:00 às 20:00 h, a cada 4 ou 6 h permanecendo o sistema ligado por 15 min e das 20:00 às 05:00 a recirculação foi realizada uma vez. Já no sistema NFT a frequência de recirculação foi aplicada da seguinte forma: das 05:00 às 20:00 h o sistema ficou ligado 15 min e desligado 15 min, das 20:00 às 05:00 h a recirculação da solução ocorreu duas vezes. Em ambos os sistemas, o controle da aplicação da solução foi realizado com auxílio de um temporizador digital.

Para fins de controle da solução nutritiva foram monitoradas, a cada dois dias, a condutividade elétrica e o pH da solução, com o auxílio de respectivamente, um condutivímetro portátil, modelo ASKO-51 e um medidor de pH portátil, previamente calibrados. O controle do pH da solução nutritiva foi efetuado sempre que necessário com hidróxido de cálcio, visando manter a solução nutritiva com o pH na faixa de 5,5 a 6,5.

Aos 30 DAT, as plantas foram colhidas

e as folhas colocadas em estufa de ventilação forçada a 45 °C até atingir um peso constante, e posteriormente foi realizado a extração do óleo essencial.

O óleo essencial foi extraído por hidrodestilação, utilizando o aparelho Clevenger adaptado a um balão de 5 l, onde foi colocada uma amostra de 30 g das folhas secas, juntamente com 1 l de água deionizada. O processo de extração foi conduzido durante 2 h, contadas a partir da condensação do hidrolato. Após esse período, o óleo extraído foi colocado em um copo de béquer, onde adicionou-se o sulfato de sódio anidro, para absorver as moléculas de água presente. Posteriormente, com o auxílio de uma pipeta do tipo Pasteur, o óleo foi acondicionado em recipientes de vidro etiquetado, envoltos em papel alumínio e armazenados sob refrigeração.

Após a extração determinou-se o teor e o rendimento de óleo essencial. O teor do óleo essencial foi calculado pela Equação 1.

$$To = \left(\frac{Vo}{MS - \left(\frac{MS \times U}{100} \right)} \right) \times 100 \quad (1)$$

em que:

To - Teor de óleo (%); Vo - Volume de óleo extraído, em ml; MS - massa da matéria seca das folhas utilizada para extração, em g; U= umidade.

O rendimento de óleo essencial foi obtido a partir da Equação 2.

$$Ro = (To \times MS) / 100 \quad (2)$$

em que:

Ro - rendimento de óleo essencial produzido, ml por planta; To - teor de óleo essencial; MS - massa seca das folhas do manjeriço, g por planta.

A coleta de dados para a determinação dos solutos orgânicos e inorgânicos foram realizadas aos 18 e 30 dias após o transplante (DAT). As análises dos solutos inorgânicos foram realizadas nas folhas, caules e raízes das plantas de manjeriço. Para a determinação dos teores de Na⁺, K⁺ e Cl⁻, os extratos brutos foram preparados como descrito por Jones

(2001). A determinação dos teores de Na⁺ e o K⁺ foi feito por fotometria de chama (Faithfull 2002) e o Cl⁻ por espectrofotometria (Jones 2001).

As análises dos solutos orgânicos foram realizadas no primeiro par de folhas totalmente expandidas e nas amostras do terço inferior das raízes. As amostras de folhas e raízes coletadas foram congeladas e armazenadas neste ambiente até o momento da liofilização. Após a liofilização do material, iniciou-se o preparo do extrato bruto que foi obtido macerando-se, em um almofariz, 100 mg de tecidos liofilizados, com 6 ml de tampão fosfato de potássio 0,1 M, pH 7,0, contendo EDTA 0,1 mM.

O homogeneizado foi filtrado em tecido de náilon de malha fina e centrifugado a 12000 × g por 15 min. O sobrenadante foi armazenado no congelador e utilizado para as determinações de carboidratos solúveis, aminoácidos livres e proteínas solúveis e prolina livres (Dubois et al. 1956; Bates et al. 1973; Bradford 1976).

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância, onde avaliou-se a significância dos tratamentos mediante teste F ao nível de 0,05 de probabilidade e teste de comparação de médias pelo teste Tukey. As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software SISVAR.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve efeito da interação frequências de recirculação × concentrações de NaCl, bem como para o fator isolado frequências de recirculação, para todas as variáveis analisadas (p>0,05). As concentrações de NaCl afetaram o teor e rendimento do óleo essencial e o acúmulo de solutos inorgânicos e orgânicos das plantas de manjeriço (p<0,05).

Teor e rendimento do óleo essencial

Houve efeito da concentração de NaCl no teor do óleo do manjeriço (p<0,05), assim, ao comparar os resultados obtidos na salinidade de 40 e 80 mM com a de 0 mM de NaCl nota-se reduções de, respectivamente, 13,86 e 29,04% (Figura 1 A).

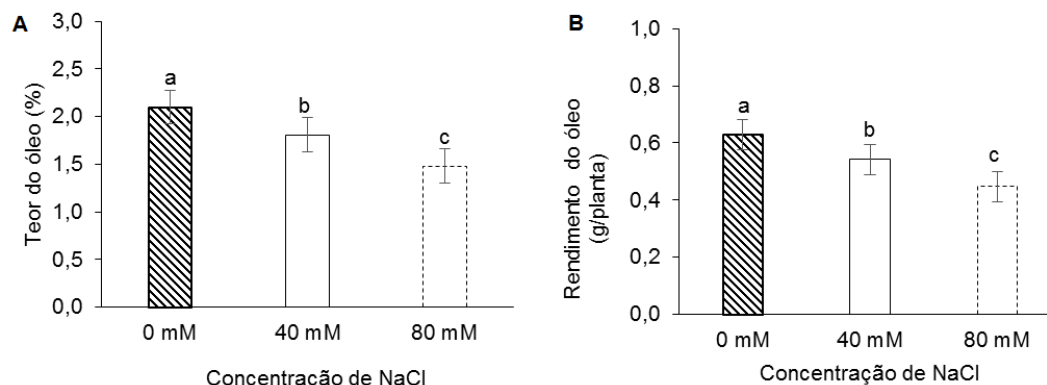


FIGURA 1. Teor (A) e rendimento (B) do óleo essencial do manjeriço, sob diferentes concentrações NaCl.

A diminuição do teor do óleo em função do aumento da concentração de NaCl, deve-se a redução da concentração de óleo essencial nos tecidos das plantas em função do estresse salino.

De acordo com Charles et al. (1990), o excesso de sais como o Na⁺ e o Cl⁻ pode reduzir a concentração de óleo essencial indiretamente através de seus efeitos na assimilação líquida ou na partição de assimilados entre os processos de crescimento e diferenciação celular. Além disso, a formação e acumulação do óleo nas plantas também foi atribuível à ação de fatores ambientais, tais como: temperatura, luminosidade, nutrição mineral das plantas (Morais 2009), desse modo, podem-se afirmar que a formação e acumulação de óleo essencial nos tecidos das plantas resulta do crescimento e do desenvolvimento perfeito das plantas produtoras de óleo.

Observou-se efeito das concentrações de NaCl analisadas no rendimento do óleo essencial do manjerição ($p < 0,05$), desse modo verificou-se uma diminuição desta variável 13,80% entre os níveis salinos de 0 a 40 mM, e de 29,68 % entre 0 e 80 mM (Figura 1 B). Respostas similares também foram observadas por Alves et al. (2015), que verificaram uma redução unitária, do rendimento do óleo de manjerição, de 12,93 % a cada acréscimo de concentração salina.

Acúmulo de solutos inorgânicos e orgânicos

Foi observado nos órgãos de manjerição avaliados, um maior acúmulo dos íons Na⁺ e Cl⁻, bem como dos carboidratos solúveis, proteínas livres, aminoácidos livres e com o aumento da salinidade

(Figura 2 A, 2 B e 2 C). Em contrapartida, os teores de K⁺ diminuíram com incremento do NaCl na solução nutritiva.

Observa-se, que houve efeito do aumento das concentrações de NaCl no acúmulo do Na⁺ ($p < 0,05$), aos 18 e 30 DAT. Deste modo, ao relacionar a menor (0mM) e a maior salinidade (80 mM) nas folhas, caules e raízes de manjerição, verifica-se um acréscimo deste soluto de, respectivamente, 8,34, 4,69 e 3,42 vezes, aos 18 DAT e de 5,85, 4,42 e 3,81 vezes aos 30 DAT (Figura 2 A, 2, B e 2 C). Ainda assim, avaliando os valores médios obtidos, observa-se que houve um maior acúmulo do Na⁺ nas folhas, seguidos dos caules e raízes das plantas de manjerição.

Esses resultados sugerem a ausência de mecanismos eficiente de exclusão do Na⁺ após o processo de absorção, uma vez que o transporte deste cátion pela corrente transpiratória resultou em acúmulo de Na⁺ na parte aérea das plantas.

Quando acumulado nos tecidos o Na⁺ se torna altamente tóxico alterando o metabolismo celular, e consequentemente o crescimento das plantas (Mekawy et al. 2015), fato observado neste trabalho.

Houve efeito do aumento da concentração salina na solução nutritiva sobre os teores de Cl⁻ nos órgãos das plantas do manjerição ($p < 0,05$), aos 18 e 30 DAT. Comparando os resultados encontrados na concentração de 0 com a de 80 mM de NaCl, observa-se que nas folhas, caules e raízes do manjerição houve um acréscimo de, respectivamente 5,46, 5,13 e 2,81 vezes, aos 18 DAT e 5,72, 5,28 e 3,49 vezes, aos 30 DAT, nesta ordem (Figura 2C, 2D e 2E).

TABELA 1. Resumo da análise de variância e estimativas de contrastes para o teor e rendimento do óleo essencial do manjerição hidropônico, obtidos após a colheita.

Quadrado Médio			
Fator de Variação	GL	TO	RE
Frequências de recirculação (F.R)	1	0,000 ^{ns}	0,000 ^{ns}
Concentrações de NaCl (C)	2	0,581**	0,052**
F.R × C	2	0,064 ^{ns}	0,006 ^{ns}
Fatorial vs. Testemunha	1	0,239**	0,021**
Tratamento	6	0,255 ^{ns}	0,023 ^{ns}
T1 × Trat. NFT	1	0,120 ^{ns}	0,030 ^{ns}
T2 × Trat. NFT	1	0,110 ^{ns}	0,030 ^{ns}
Resíduo	14	0,120 ^{ns}	0,030 ^{ns}
CV%		0,110 ^{ns}	0,030 ^{ns}

** e * significante pelo teste F a 0,01 e 0,05 de probabilidade; não significante pelo teste de Tukey; Na análise dos contrastes - ^{ns} Não-significativo, pelo teste de Dunnett, em nível de 5% de probabilidade; GL – grau de liberdade; CV - Coeficiente de variação; TO- teor do óleo essencial; RE- rendimento do óleo essencial; Trat. NFT- tratamento em NFT, 0 mM de NaCl na F.R. de 15 mim (0mM/15 mim); T1 – (0 mM / 4 horas- DFT); T2- (0 mM/ 6 h- DFT).

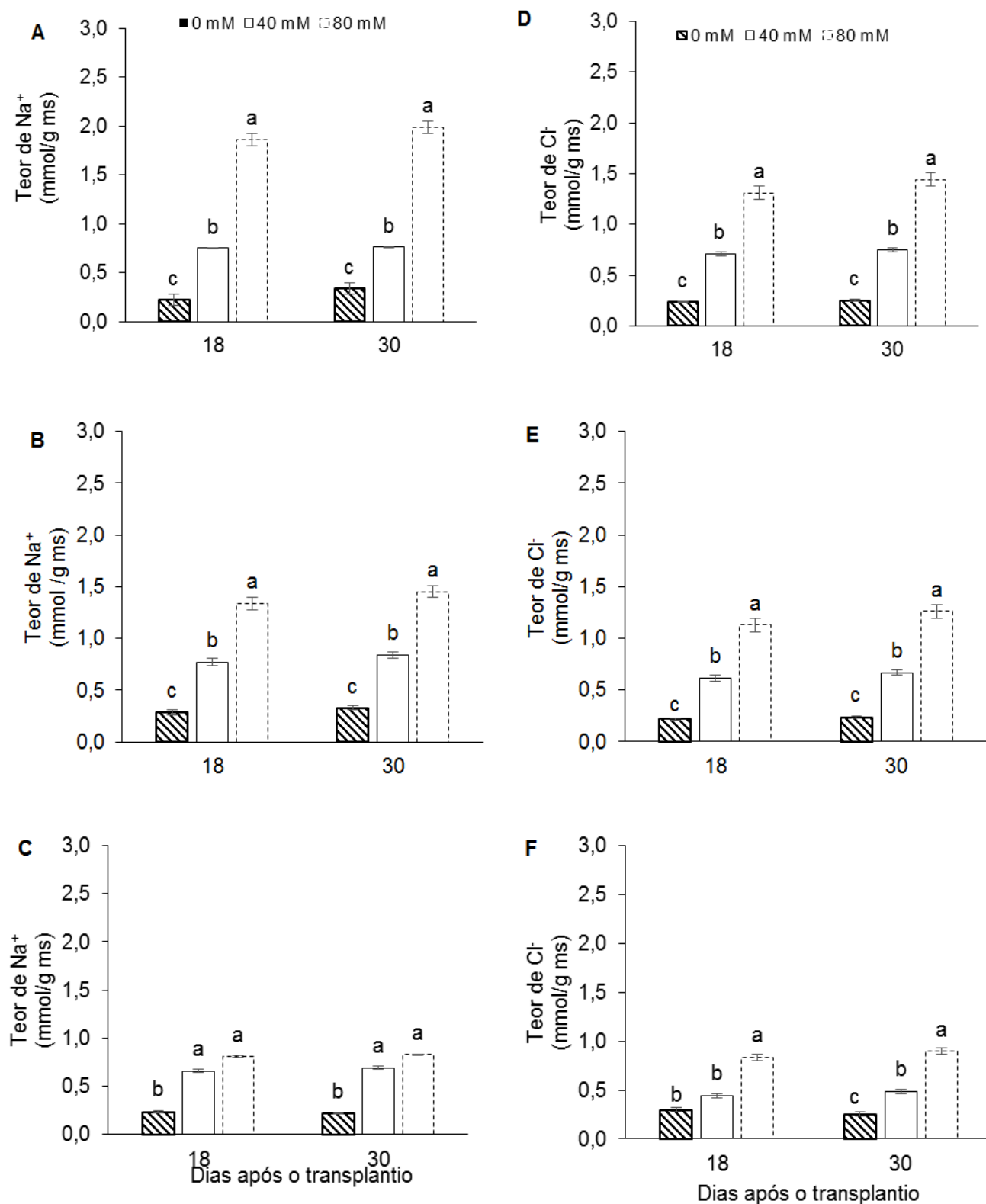


FIGURA 2. Teores de Na⁺ e Cl⁻ nas folhas (A e D), caules (B e E) e raízes (C e F) em plantas de manjericão submetidas a diferentes concentrações de NaCl, aos 18 e 30 dias após o transplante. Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

TABELA 2. Resumo da análise de variância e estimativas dos contrastes para os solutos inorgânicos, obtidos aos 18 e aos 30 dias após o transplante.

Quadrado Médio													
Fator de Variação	GL	Folha					Caule			Raiz			
		Cl ⁻	Na ⁺	K ⁺	K ⁺ /Na ⁺	Cl ⁻	Na ⁺	K ⁺	K ⁺ /Na ⁺	Cl ⁻	Na ⁺	K ⁺	K ⁺ /Na ⁺
18 DAT													
Frequências de recirculação (F.R)	1	0,366 ^{ns}	0,000 ^{ns}	0,036 ^{ns}	0,000 ^{ns}	0,413 ^{ns}	0,144 ^{ns}	0,067 ^{ns}	0,012 ^{ns}	0,322 ^{ns}	0,298 ^{ns}	3,09 ^{ns}	0,861 ^{ns}
Concentrações de NaCl (C)	2	5,416 ^{**}	0,333 [*]	15,718 ^{**}	74,374 ^{**}	4,148 ^{**}	17,202 ^{**}	34,547 ^{**}	25,307 ^{**}	16,544 ^{**}	9,985 ^{**}	0,938 [*]	42,331 ^{**}
F.R × C	2	0,254 ^{ns}	0,008 ^{ns}	0,178 ^{ns}	0,089 ^{ns}	0,174 ^{ns}	0,009 ^{ns}	0,178 ^{ns}	0,096 ^{ns}	0,252 ^{ns}	0,148 ^{ns}	1,219 ^{ns}	1,870 ^{ns}
Fatorial ×Trat NFT	1	1,056 ^{**}	0,653 ^{**}	0,984 [*]	0,975 ^{**}	0,875 ^{**}	0,432 ^{**}	0,821 ^{**}	0,789 ^{**}	1,035 ^{**}	0,754 ^{**}	2,109 ^{**}	1,741 [*]
Tratamento	6	2,761 ^{**}	1,831 ^{**}	2,275 [*]	2,083 [*]	2,143 ^{**}	1,106 ^{**}	1,915 ^{**}	1,564 ^{**}	2,116 ^{**}	2,831 ^{**}	3,124 ^{**}	3,993 ^{**}
T1 × Trat. NFT	1	0,082 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,018 ^{ns}	0,044 ^{ns}	0,001 ^{ns}	0,006 ^{ns}	0,090 ^{ns}	0,085 ^{ns}	0,008 ^{ns}	0,045 ^{ns}	0,023 ^{ns}	0,033 ^{ns}
T2 × Trat. NFT	1	0,053 ^{ns}	0,166 ^{ns}	0,273 ^{ns}	0,127 ^{ns}	0,056 ^{ns}	0,003 ^{ns}	0,140 ^{ns}	0,133 ^{ns}	0,002 ^{ns}	0,001 ^{ns}	0,025 ^{ns}	0,061 ^{ns}
Resíduo	14	0,003	0,000	0,004	0,002	0,018	0,017	0,019	0,002	0,043	0,018	0,016	0,008
CV%		4,27	8,44	7,76	3,22	6,78	6,36	5,680	3,61	5,680	6,87	7,71	3,29
30 DAT													
Frequências de recirculação (F.R)	1	0,488 ^{ns}	0,240 ^{ns}	0,065 ^{ns}	0,408 ^{ns}	0,009 ^{ns}	0,363 ^{ns}	0,046 ^{ns}	0,037 ^{ns}	0,417 ^{ns}	0,649 ^{ns}	0,040 ^{ns}	0,331 ^{ns}
Concentrações de NaCl (C)	2	6,622 ^{**}	0,927 [*]	0,135 [*]	36,356 ^{**}	4,605 ^{**}	40,319 ^{**}	24,706 ^{**}	27,776 ^{**}	22,371 ^{**}	10,417 ^{**}	0,108 [*]	36,440 ^{**}
F.R × C	2	0,074 ^{ns}	0,209 ^{ns}	0,036 ^{ns}	0,163 ^{ns}	0,003 ^{ns}	0,079 ^{ns}	0,027 ^{ns}	0,053 ^{ns}	0,106 ^{ns}	1,874 ^{ns}	0,010 ^{ns}	0,251 ^{ns}
Fatorial ×Trat NFT	1	1,005 ^{**}	1,314 ^{**}	0,747 ^{**}	0,541 [*]	0,621 ^{**}	1,442 ^{**}	0,814 ^{**}	0,683 ^{**}	0,654 ^{**}	2,358 ^{**}	0,826 ^{**}	1,161 [*]
Tratamento	6	1,724 ^{**}	2,071 ^{**}	1,112 ^{**}	2,116 ^{**}	1,032 ^{**}	1,773 [*]	2,022 [*]	1,721 [*]	1,119 ^{**}	1,004 ^{**}	1,210 ^{**}	1,523 ^{**}
T1 × Trat. NFT	1	0,004 ^{ns}	0,057 ^{ns}	0,042 ^{ns}	0,030 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,025 ^{ns}	0,019 ^{ns}	0,016 ^{ns}	0,088 ^{ns}	0,071 ^{ns}	0,003 ^{ns}	0,042 ^{ns}
T2 × Trat. NFT	1	0,098 ^{ns}	0,032 ^{ns}	0,019 ^{ns}	0,051 ^{ns}	0,003 ^{ns}	0,025 ^{ns}	0,026 ^{ns}	0,022 ^{ns}	0,107 ^{ns}	0,079 ^{ns}	0,022 ^{ns}	0,087 ^{ns}
Resíduo	14	0,003	0,001	0,003	0,015	0,018	0,018	0,011	0,005	0,007	0,001	0,001	0,016
CV%		3,6	5,85	4,34	3,68	7,680	4,300	5,480	3,71	4,130	3,80	5,31	3,44

** e * significante pelo teste F a 0,01 e 0,05 de probabilidade; ^{ns} não significante; Na análise dos contrastes - ^{ns} Não-significativo, pelo teste de Dunnett, em nível de 5% de probabilidade; GL – grau de liberdade; CV- coeficiente de variação; Cl⁻ - cloreto; Na⁺ - sódio; K⁺ - potássio. Trat. NFT- tratamento em NFT, 0 mM de NaCl na F.R. de 15 mim (0mM/15 mim); T1 – (0 mM / 4 horas- DFT); T2- (0 mM/ 6 h- DFT); DAT - dias após o transplante.

Assim, considerando que os maiores teores de Na⁺ e Cl⁻ foram observados nas folhas, os resultados obtidos neste trabalho sugerem que as plantas de manjerição não apresentam restrição ao transporte destes íons para este órgão. As maiores concentrações de Na⁺ e Cl⁻ observadas neste estudo, possivelmente ocasionaram efeitos tóxicos destes íons nestas plantas, observadas visivelmente neste estudo pelo amarelecimento das folhas mais velhas e indiretamente pela redução da produção de óleo.

Não houve efeito entre as concentrações de NaCl de 40 e 80 mM para os teores de K⁺

(p>0,05) nos órgãos avaliados, no entanto verificou-se significâncias estatísticas (p<0,05) entre as salinidades de 0 e 80 mM, com decréscimo nas folhas, caules e raízes de 2,07, 1,96 e 1,88 vezes, aos 18 DAT e de 1,98, 2,08 e 1,78 vezes, aos 30 DAT, nesta ordem (Figura 3A, 3B e 3C). A redução dos teores de K⁺ nos órgãos das plantas pode ser um indicativo da ocorrência de antagonismo entre os íons K⁺ e Na⁺, uma vez que o excesso de Na⁺ na solução nutritiva provavelmente favoreceu a sua absorção em detrimento à do K⁺.

Houve efeito do aumento da salinidade na razão K⁺/Na⁺ (p<0,05) nas folhas, caules e raízes

TABELA 3. Resumo da análise de variância e estimativas dos contrastes para os solutos orgânicos, obtidos aos 18 e aos 30 dias após o transplante.

Fator de Variação	Quadrado Médio								
	Folha					Raiz			
	GL	CO	AA	PT	PRO	CO	AA	PT	PRO
18 DAT									
Frequência de recirculação (F.R)	1	5.273,439 ^{ns}	31,147 ^{ns}	24,453 ^{ns}	0,033 ^{ns}	10,169 ^{ns}	230,280 ^{ns}	47,193 ^{ns}	1,741 ^{ns}
Concentrações de NaCl (C)	2	175.402,676**	1.506,630**	208,757**	20,560**	148,913 **	1.726,521 **	401,793**	7,258 **
F.R × C	2	181,015 ^{ns}	82,129 ^{ns}	1,0060 ^{ns}	0,064 ^{ns}	11.167,862 ^{ns}	68,628 ^{ns}	52,664 ^{ns}	0,653 ^{ns}
Fatorial × Trat NFT	1	224,631**	101,23**	3,487**	2,451*	14.211,310*	82,481**	74,391**	2,451**
Tratamento	6	253,610*	128,673**	4,612*	4,449**	19.710,110 *	96,106**	83,081*	3,933**
T1 × Trat. NFT	1	15,258 ^{ns}	2,835 ^{ns}	2,830 ^{ns}	0,245 ^{ns}	1,458 ^{ns}	0,477 ^{ns}	0,129 ^{ns}	0,081 ^{ns}
T2 × Trat. NFT	1	17,242 ^{ns}	1,150 ^{ns}	1,190 ^{ns}	0,207 ^{ns}	2,360 ^{ns}	0,478 ^{ns}	0,060 ^{ns}	0,121 ^{ns}
Resíduo	14	312,173	4,508	3,203	0,076	548,761	12,991	5,266	0,706
CV%		4,45	4,17	6,76	7,110	7,310	8,030	4,380	6,98
30 DAT									
Frequência de recirculação (F.R)	1	1.809,612 ^{ns}	15,730 ^{ns}	30,516 ^{ns}	1,470 ^{ns}	301,269 ^{ns}	144,641 ^{ns}	20,195 ^{ns}	3,686 ^{ns}
Concentrações de NaCl (C)	2	50.159,395**	1.294,073**	409,454**	22,135**	44.975,274**	1.044,763**	330,294**	5,306 **
F.R × C	2	4.433,660 ^{ns}	60,338 ^{ns}	25,456 ^{ns}	0,533 ^{ns}	616,678 ^{ns}	81,203 ^{ns}	60,332 ^{ns}	0,864 ^{ns}
Fatorial × Trat NFT	1	4,871,099*	74,551**	32,271*	1,076**	659,801**	92,361**	71,824*	1,551*
Tratamento	6	5.011,0321*	82,873**	39,567*	1,921**	682,001**	101,341**	81,474*	2,086*
T1 × Trat. NFT	1	12,180 ^{ns}	0,447 ^{ns}	0,647 ^{ns}	0,245 ^{ns}	1,250 ^{ns}	0,430 ^{ns}	0,414 ^{ns}	0,011 ^{ns}
T2 × Trat. NFT	1	6,400 ^{ns}	0,292 ^{ns}	0,182 ^{ns}	0,232 ^{ns}	2,853 ^{ns}	1,639 ^{ns}	0,328 ^{ns}	0,075 ^{ns}
Resíduo	14	53,701	0,556	0,725	0,249	19,131	0,423	0,102	0,000
CV%		1,52	1,3	2,48	5,490	1,270	2,450	7,410	2,79

**e * significativo pelo teste F a 0,01 e 0,05 de probabilidade; ns não significativo; Na análise dos contrastes - ^{ns} Não-significativo, pelo teste de Dunnett, em nível de 5% de probabilidade CV- coeficiente de variação; GL- grau de liberdade; CO – carboidrato solúvel; AA – aminoácidos livres; PT- proteínas solúveis; PRO – prolina livres. Trat. NFT- tratamento em NFT, 0 mM de NaCl na F.R. de 15 mim (0mM/15 mim); T1 – (0 mM / 4 horas- DFT); T2- (0 mM/ 6 h- DFT); DAT - dias após o transplante.

de manjeriço, aos 18 e 30 DAT (Tabela 3D, 3E e 3F). Assim ao comparar os resultados obtidos entre as salinidades de 0 e 80 mM nota-se reduções nas folhas, caules e raízes, de respectivamente de 17,27, 9,20 e 8,28 vezes, aos 18 DAT e de 11,57, 10,16 e 8,83 vezes aos 30 DAT. A redução da razão K^+/Na^+ nas plantas de manjeriço sob estresse salino foi resultante do aumento da absorção de

Na^+ associada à diminuição da absorção de K^+ , como consequência do possível antagonismo entre estes íons. De acordo com Cunha (2009), o K^+ é ativador enzimático de mais de 50 enzimas do metabolismo vegetal e não pode ser substituído pelo Na^+ nesta função, de modo que uma baixa razão K^+/Na^+ resultará na interrupção de vários processos metabólicos essenciais.

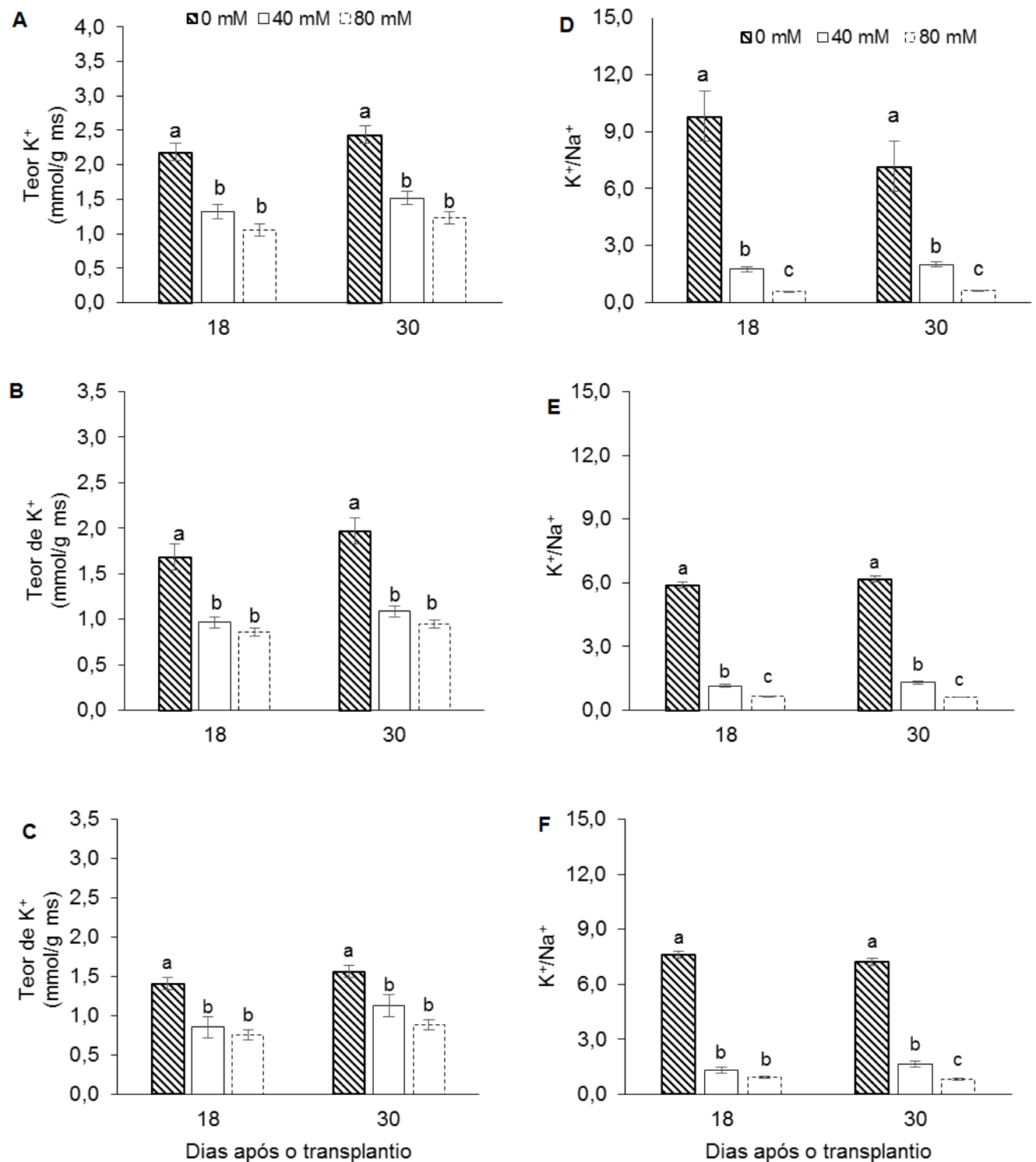


FIGURA 3. Teores de K^+ e razão K^+/Na^+ nas folhas (A e D), caules (B e E) e raízes (C e F) em plantas de manjericão submetidas a diferentes concentrações de NaCl, aos 18 e 30 dias após o transplante. Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Observa-se que houve efeito do incremento da salinidade no teor de carboidratos solúveis nas folhas e raízes do manjeriço ($p < 0,05$), aos 18 e 30 DAT (Figuras 4A e 4B).

Nas folhas, quando se comparou a concentração de 0 mM a de 40 e 80 mM de NaCl, notou-se um aumento dos teores de carboidratos solúveis, e este foi da magnitude de respectivamente, 38,88 e 80,25 % aos 18 DAT e 48,61 e 82,17 %, aos 30 DAT, nesta ordem (Figura 4A). Nas raízes, ao relacionar a concentração de NaCl de 0 mM com a de 40 e 80 mM, nota-se um acréscimo deste soluto de, respectivamente, 26,53 e 71,36%, aos 18 DAT e 56,44 e 75,57%, aos 30 DAT. (Figura 4B).

Observa-se que as plantas cultivadas com solução nutritiva salina tiveram um maior incremento deste soluto. Deste modo, estes resultados indicam que, possivelmente, o aumento da concentração de carboidratos das plantas estressadas esteja relacionado ao ajuste osmótico.

O ajustamento osmótico possibilita a absorção de água para as plantas em condições salinas, desse modo a manutenção da turgescência permite que a fotossíntese e outras importantes atividades fisiológicas sejam mantidas, mesmo que baixas, possibilitando a redistribuição de carbono e nitrogênio nas plantas (Chaves Filho e Seraphin 2001).

Houve efeito do aumento da concentração de NaCl nos teores de proteínas solúveis ($p < 0,05$) nas folhas e raízes de manjeriço, aos 18 e 30 DAT (Figuras 4C e 4D).

Nas folhas, aos 18 DAT, ao relacionar a concentração de NaCl de 0 com a de 80 mM, nota-se um aumento do teor de proteínas solúveis de 51,16 %. Aos 30 DAT, ao comparar os resultados obtidos sem NaCl com os das concentrações de 40 e 80 mM, observa-se um aumento e este foi da magnitude de, respectivamente, 40,15 e 69,95% (Figura 4C). Nota-se que nas raízes ao relacionar a concentração de NaCl de 0 mM com a de 80 mM, verifica-se um aumento do teor de proteínas solúveis de 80,97 e 60,36%, respectivamente, aos 18 e 30 DAT (Figura 4D).

Os resultados encontrados concordam com os de outros autores que trabalhando com diferentes culturas como o sorgo (Oliveira et al. 2006), pinhão manso (Cunha et al. 2013) observaram um incremento nos teores de proteínas solúveis com o aumento da salinidade.

Para Tester e Davenport (2003), o aumento de proteínas pode ter ocorrido, pelo fato do estresse salino, mesmo causando a quebra de algumas proteínas, estimula a síntese de muitas outras nas folhas, como deidrinhas, que são importantes para manter a estrutura de outras proteínas, fazer a estabilização das membranas celulares e a

sinalização de respostas à salinidade.

Dessa forma, os resultados encontrados indicam que os teores de proteínas presentes no manjeriço refletem a capacidade destas plantas em se aclimatarem em condições salinas, contribuindo com o ajuste osmótico destas plantas.

Houve efeito do aumento da salinidade no teor de aminoácidos livres ($p < 0,05$), nas folhas e raízes de manjeriço, aos 18 e 30 DAT (Figura 4E e 4F). Nas folhas do manjeriço, ao comparar os resultados obtidos na salinidade de 40 e 80 mM com a de 0 mM de NaCl, nota-se um incremento do teor de aminoácidos livres e este foi de, respectivamente, 20,58 e 32,27%, aos 18 DAT e de 14,33 e 35,56 %, aos 30 DAT (Figura 13E).

Nas raízes, nota-se que aos 18 DAT, as concentrações de 0 e 40 mM de NaCl, não apresentaram efeitos significativos, assim, ao relacionar a concentração de NaCl de 0 com a de 80 mM, nota-se um aumento de 35,57%. Aos 30 DAT, ao comparar os resultados do nível salino de 0 mM com os de 40 e 80 mM, verifica-se um acréscimo deste soluto de 19,36 e 31,45 %. (Figura 4F).

O incremento do teor de aminoácidos livres verificado neste estudo, nas plantas submetidas à salinidade, deve-se ao aumento na biossíntese desses compostos, uma vez que, nestas condições houve elevação na concentração de proteínas solúveis (Figura 4C e 4D). De acordo com Feijão et al. (2011), o acúmulo de aminoácidos livres em plantas sob estresse salino é comumente relacionado à tolerância destas a salinidade, pela capacidade desse soluto contribuir para o ajuste osmótico.

Houve efeito do aumento da concentração de NaCl nos teores de prolina livres ($p < 0,05$) nas folhas e raízes de manjeriço, aos 18 e 30 DAT (Figuras 4G e 4H).

Nas folhas, comparando o nível sem NaCl com os de 40 e 80 mM, nota-se um acréscimo deste soluto de, respectivamente 57,82 e 87,31% aos 18 DAT e de 56,19 e 85,55% aos 30 DAT (Figura 4G). Nas raízes do manjeriço, observa-se que a concentração de NaCl de 80 mM diferiu estatisticamente das demais e assim, ao relacionar a concentração de NaCl de 0 mM com a de 80 mM, verifica-se um aumento do teor de prolina de 82,53% aos 18 DAT e de 64,36% aos 30 DAT (Figura 4H).

Maia et al. (2007) afirmaram que, em condições semelhantes de estresse, as plantas mais tolerantes sintetizam maior quantidade de prolina quando comparadas com plantas sensíveis, atuando como importante indicador de tolerância. O incremento nos teores de prolina livres observado nas plantas de manjeriço submetidas à salinidade, confirma o importante papel osmorregulador dessa

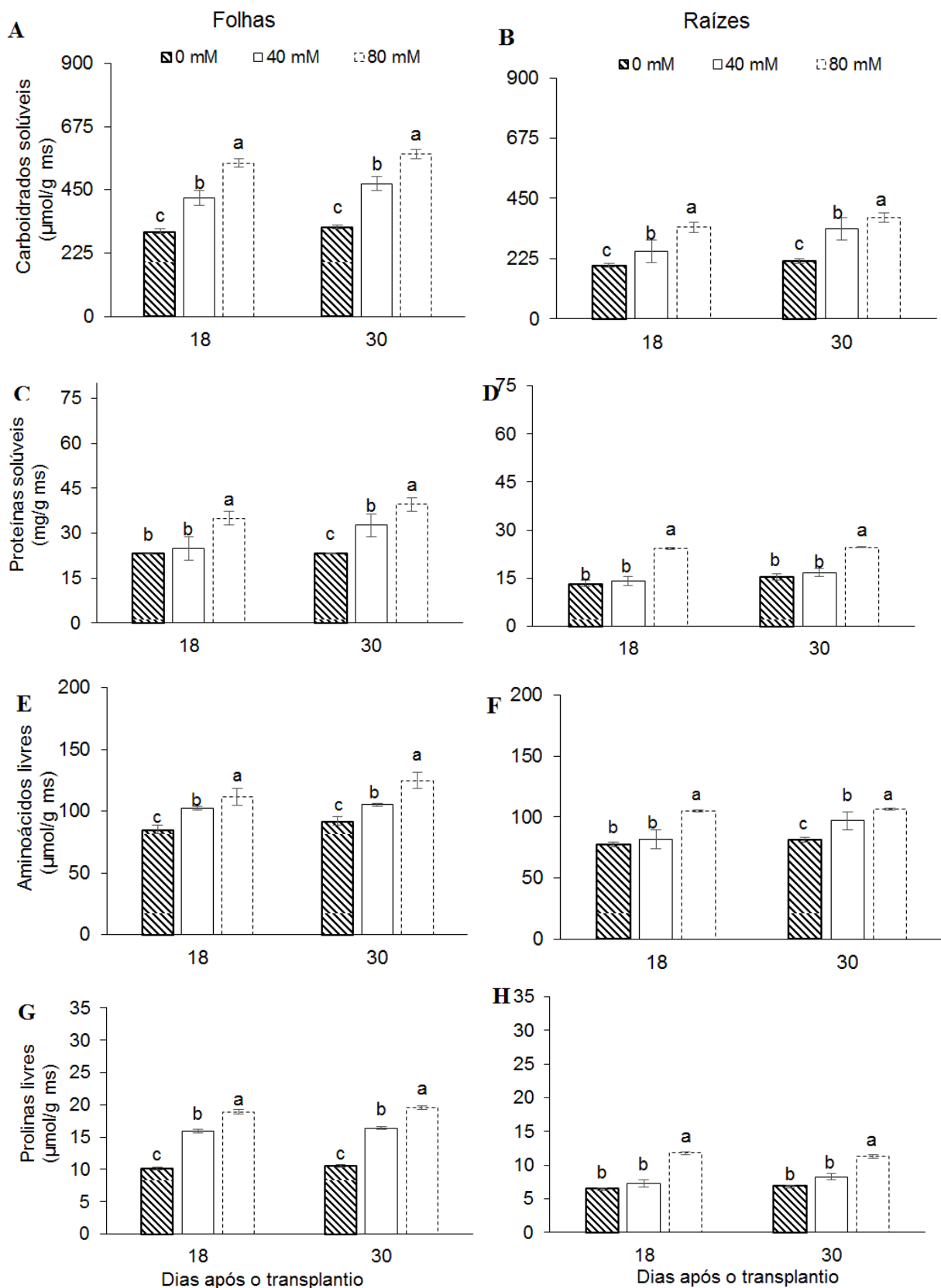


FIGURA 4. Teores de carboidratos solúveis (A e B), proteínas solúveis (C e D), aminoácidos livres (E e F) e prolínas livres (G e H) em folhas e raízes de manjerição sob diferentes concentrações de NaCl, aos 18 e 30 dias após o transplântio. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

substância, uma vez que vários relatos científicos indicam que plantas que acumulam esse aminoácido conseguem reduzir os efeitos deletérios do NaCl nas plantas (Souza et al. 2014; Cova 2016).

Estimativas de contrastes

Não foram encontrados efeitos significativos entre as plantas cultivadas no sistema DFT, expostas à frequência de recirculação da solução nutritiva de 4 e 6 h, e àquelas produzidas em sistema NFT com frequência de recirculação da solução nutritiva de 15 min, para o teor e rendimento do óleo essencial e o acúmulo de solutos ($p > 0,05$).

CONCLUSÃO

A redução da frequência de recirculação da solução nutritiva para seis horas não ocasiona efeitos significativos no teor e o rendimento do óleo essencial do manjerição cv. Toscano Folha de Alface, bem como no acúmulo dos solutos inorgânicos e orgânicos desta planta;

O teor e o rendimento do óleo essencial do manjerição hidropônico cv. Toscano Folha de Alface reduz com a utilização da solução nutritiva salina, de 40 e 80 mM de NaCl;

O manjerição cv. Toscano Folha de Alface não apresenta mecanismos de restrição ao transporte de Na^+ e Cl^- para as folhas, as quais possuem os maiores teores destes íons; o teor de K^+ nas folhas, caules e raízes do manjerição reduz em função da salinidade. O acúmulo dos solutos orgânicos nas folhas e raízes do manjerição é uma estratégia das plantas para reduzir os efeitos deletérios do NaCl;

A escolha do sistema hidropônico DFT ou NFT não ocasiona alterações no teor e o rendimento do óleo essencial, bem como no acúmulo dos solutos inorgânicos e orgânicos do manjerição cv. Toscano Folha de Alface.

CONFLITO DE INTERESSE

Os autores declaram não haver conflito de interesse.

REFERÊNCIAS

- Alves LS, Paz VPS, Silva AJP, Oliveira GXS, Oliveira FER, Amorim EL (2015) Teor, rendimento e composição química do óleo essencial de plantas de manjerição submetidas ao estresse salino com NaCl. *Rev Bras Plantas Med* 17:807-813. https://doi.org/10.1590/1983-084X/14_031
- Bates LS, Waldren RP, Teare ID (1973) Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant Soil* 39: 205-207. <https://doi.org/10.1007/BF00018060>
- Bione MAA, Paz VPS, Silva F, Ribas RF, Soares TM (2014) Growth and production of basil in NFT hydroponic system under salinity. *Rev Bras Eng Agríc Amb* 18:1228-1234. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v18n12p1228-1234>
- Bradford MM (1976) A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal Biochem* 72:246-254. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3)
- Charles DJ, Joly RJ, Simon J (1990) Effect of osmotic stress on the essential oil content and composition of peppermint. *Phytochemistry* 29:2837-2840. [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(90\)87087-B](https://doi.org/10.1016/0031-9422(90)87087-B)
- Chaves Filho JT, Seaphin ES (2001) Alteração no potencial osmótico e teor de carboidratos solúveis em plantas jovens de lobeira (*Solanum lycocarpum* St.-Hil.) em resposta ao estresse hídrico. *Rev Bras Bot* 24:199-204. <https://doi.org/10.1590/S0100-84042001000200010>
- Cova AMW (2016) Respostas fisiológicas e bioquímicas do noni (*Morinda citrifolia* L.) ao estresse salino. 105 p. Thesis (Doctorate - Concentration area in Agricultural Engineering), Department of Agricultural Sciences, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, Brazil.
- Cova AM, Freitas FT, Viana PC, Rafael MR, Azevedo Neto ADD, Soares TM (2017) Content of inorganic solutes in lettuce grown with brackish water in different hydroponic systems. *Rev Bras Eng Agríc Amb* 21:150-155. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n3p150-155>
- Cunha PC (2009) Aspectos fisiológicos e bioquímicos de *Jatropha curcas* L. cultivada sob estresse salino. 60p. Dissertation (Master's - Concentration area in Botany) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, Brazil.
- Cunha PC, Mendes BSS, Oliveira Filho RA, Camara TR, Willadino LG (2013) Crescimento, síntese de solutos orgânicos e equilíbrio iônico de plântulas de pinhão-mansô sob estresse salino. *Rev Caatinga* 26:46-52. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=237129741007>
- Di Martino C, Delfine S, Pizzuto R, Loreto F, Fuggi A (2003) Free amino acids and glycine betaine in leaf osmoregulation of spinach responding to increasing salt stress. *New Phytologist* 158:455-463. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2003.00770.x>
- Dubois M, Gilles KA, Hamilton JK, Rebers PA, Smith F (1956) Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Anal Chem*

- 28:350-356. <https://doi.org/10.1021/ac60111a017>
- Faithfull NT (2002) Methods in agricultural chemical analysis: a practical handbook. Wallingford: CABI Publishing, p. 206.
- Feijão AR, Silva JCB; Marques EC, Prisco JT, Gomes Filho E (2011) Efeito da nutrição de nitrato na tolerância de plantas de sorgo sudão à salinidade. *Rev Ciên Agron* 42:675-683. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902011000300014>
- Furlani PR (1998) Instruções para cultivo de hortaliças de folhas pela técnica de hidroponia NFT. Campinas: IAC. 30p. Boletim, 168.
- Jones JB (2001) Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis. Boca Raton: CRC Press.
- Luz JM, Resende RF, Silva SM, Santana DG, Camilo JS, Blank AF, Haber LL (2014) Produção de óleo essencial de *Ocimum basilicum* L. em diferentes épocas, sistemas de cultivo e adubações. *B Latinoam Caribe Plan Med Arom* 13:69–80. ID: lil-726604
- Maia PSP, Oliveira Neto CF, Castro DS, Freitas JMN, Lobato AKS, Costa RCL (2007) Conteúdo relativo de água, teor de prolina e carboidratos solúveis totais em folhas de duas cultivares de milho submetidas a estresse hídrico. *Rev Bras Biociên* 5:918-920.
- Mekawy AMM, Assaha DVM, Yahaghi H, Tada Y, Ueda A, Saneoka H (2015) Growth, physiological adaptation, and gene expression analysis of two Egyptian rice cultivars under salt stress. *Plant Physiol Biochem* 87:17-25. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2014.12.007>
- Mendes BSS, Willadino L, Cunha PC, Oliveira Filho RA (2011) Camara TR Mecanismo fisiológicos e bioquímicos do abacaxi ornamental sob estresse salino. *Rev Caatinga* 24:71-77. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=237119874010>
- Morais LAS (2009) Influência dos fatores abióticos na composição química dos óleos essenciais. *Hort Bras* 27:4050-4063. <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/577686>
- Oliveira LAA, Barreto LP, Bezerra Neto E, Santos MVF, Costa JCA (2006) Solutos orgânicos em genótipos de sorgo forrageiro sob estresse salino. *Pesq Agropecu Bras* 41: 31-35. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2006000100005>
- Parirah P, Singh S, Singh VP, Prasad SM (2015) Effect of salinity stress on plants and its tolerance strategies: a review. *Environ Sci Pollut Res* 22:4056-4067. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3739-1>
- Pereira RCA, Moreira ALM (2011) Manjerição: Cultivo e Utilização. Embrapa Agroindústria Tropical, 30p. Documentos136.
- Ribeiro MR (2010) Origem e classificação dos solos afetados por sais. In: Gheyi HR, Dias N S, Lacerda CF. Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados. Fortaleza: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade, p. 11-19.
- Santos Júnior JA, Gheyi HR, Guedes Filho DH, Silva Dias N, Soares FAL (2011) Cultivo de girassol em sistema hidropônico sob diferentes níveis de salinidade. *Rev Ciên Agronô* 42:842-849. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902011000400004>
- Silva EN, Silveira JAG, Rodrigues CRF, LIMA CS, VIÉGAS RA (2009) Contribuição de solutos orgânicos e inorgânicos no ajustamento osmótico de pinhão-mansão submetido à salinidade. *Pesqui Agropecu Bras* 44:437-445. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2009000500002>
- Silva MG, Soares TM, Gheyi HR, Oliveira IS, Silva Filho JA, Carmo F.F (2016) Frequency of recirculation of nutrient solution in hydroponic cultivation of coriander with brackish water. *Rev Bras de Eng Agríc Amb* 20:447-454. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi>
- Souza MCMR, Lacerda CF, Amorim AV, Menezes AS (2014) Influência da matéria orgânica e do ambiente no crescimento e acúmulo de solutos em *Morinda citrifolia* submetida à salinidade. *Rev Bras Fruticul* 36:704-712. <https://doi.org/10.1590/0100-2945-319/13>
- Tester M, Davenport R (2003) Na⁺ tolerance and Na⁺ transport in higher plants. *Ann Bot* 91:503-527. <https://doi.org/10.1093/aob/mcg058>
- Willadino L, Camara TR (2010) Tolerância das plantas à salinidade: aspectos fisiológicos e bioquímicos. *Enciclop Biosf* 6:2-23. <http://www.conhecer.org.br/enciclop/enciclop.htm>