

Crescimento e nutrição da beterraba sob doses de sódio e potássio
Growth and nutrition of table beet under levels of sodium and potassium
Crecimiento y nutrición de la remolacha de mesa bajo dosis de sodio y potasio

Recebido: 10/06/2020 | Revisado: 12/06/2020 | Aceito: 24/06/2020 | Publicado: 06/07/2020

Alisson Lucrécio da Costa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6925-0081>

Instituto Federal Goiano - campus Iporá, Brasil

E-mail: alisson.lucrecio@ifgoiano.edu.br

Karina Fernandes Carvalho

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2897-315X>

Secretaria de Educação do Ceará, Brasil

E-mail: karina.carvalho@prof.ce.gov.br

Nilma Portela Oliveira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7866-4566>

Instituto Federal Sudeste de Minas Gerais - campus Barbacena, Brasil

E-mail: nilma.portela@ifsudestemg.edu.br

Resumo

O sódio (Na) é considerado um elemento benéfico para as plantas em geral e, para a beterraba e algumas outras culturas, pode substituir parcialmente o potássio (K) em algumas funções na planta. Entretanto, a influência desse cátion para cultura da beterraba hortícola até então é pouca compreendida. Neste contexto, objetivou-se verificar a resposta da nutrição com Na em substituição e em adição à nutrição com K sobre o crescimento e nutrição da beterraba hortícola. O ensaio foi conduzido em vasos com solução nutritiva em delineamento inteiramente casualizado com 3 repetições e 7 tratamentos; T1 (100% K e 0 % Na), T2 (75% K e 25% Na) , T3 (50% K e 50% Na), T4 (25 % K e 75% Na), T5 (0% K e 100 % Na), T6 (100% K e 25 % Na) e T7 (100 K e 50 % Na). Os resultados mostraram que a substituição do potássio pelo sódio em 25 % da dose recomendada e adições de Na (25 e 50%) à solução nutritiva com 100% de K não interferiram significativamente no crescimento das plantas. A absorção de sódio pela beterraba foi menor em comparação à absorção de potássio. Além disso, a presença de Na afetou os teores dos demais nutrientes. Desse modo, concluiu-se que beterraba produz

satisfatoriamente sob aplicações regulares de K com adição de Na, bem como quando se substitui parcialmente o potássio ao nível de 25 % de Na fornecido na solução de cultivo.

Palavras-chave: *Beta vulgaris* L.; nutrição mineral; nutriente; elemento benéfico.

Abstract

Sodium (Na) is considered a beneficial element for plants in general and, for table beet some other crops, it can partially replace potassium (K) in some functions in the plant. However, little is known in respect to the influence of this cation on table beet. In this context, the present study aimed to verify the response of nutrition with Na in substitution and in addition to nutrition with K on the growth and nutrition of the table beet. The experiment, conducted in vases with nutrient solution in a completely randomized design, was made up of three replications and seven treatments: T1 (100% K e 0 % Na), T2 (75% K e 25% Na) , T3 (50% K e 50% Na), T4 (25 % K e 75% Na), T5 (0% K e 100 % Na), T6 (100% K e 25 % Na) e T7 (100 K e 50 % Na). The results showed that the substitution of the potassium by the sodium in 25% of the recommended base and addition of Na (25 and 50%) to the nutrient solution with 100% K did not interfere significantly in the growth of the plants. The sodium uptake by the table beet was lower in comparison with that of potassium. Besides, the presence of Na affected the levels of other nutrients. Thus, it was concluded that table beet produces satisfactorily under regular applications of K with the addition of Na, as well as when partially replacing the potassium at the level of 25% of Na provided in the culture solution.

Keywords: *Beta vulgaris* L; mineral nutrition; nutrient; beneficial element.

Resumen

El sodio (Na) se considera un elemento beneficioso para las plantas en general y, para la remolacha de mesa y algunos otros cultivos, puede reemplazar parcialmente al potasio (K) en algunas funciones de la planta. Sin embargo, la influencia de este catión para el cultivo de remolacha hortícola hasta entonces es poco conocida. En este contexto, el objetivo era verificar la respuesta de la nutrición con Na en sustitución y además de la nutrición con K en el crecimiento y nutrición de la remolacha hortícola. La prueba se realizó en macetas con solución nutritiva en un diseño completamente al azar con 3 repeticiones y 7 tratamientos; T1 (100% K y 0% Na), T2 (75% K y 25% Na), T3 (50% K y 50% Na), T4 (25% K y 75% Na), T5 (0% K y 100% Na), T6 (100% K y 25% Na) y T7 (100 K y 50% Na). Los resultados mostraron que la sustitución de potasio por sodio en el 25% de la dosis recomendada y la adición de Na (25 y 50%) a la solución nutritiva con 100% de K no interfirieron significativamente en el crecimiento

de las plantas. La absorción de sodio por la remolacha fue menor en comparación con la absorción de potasio. Además, la presencia de Na afectó los niveles de otros nutrientes. Por lo tanto, se concluyó que la remolacha produce satisfactoriamente bajo aplicaciones regulares de K con la adición de Na, así como también cuando se reemplaza parcialmente el potasio al nivel del 25% de Na proporcionado en la solución de cultivo.

Palabras clave: *Beta vulgaris* L; nutrición mineral; nutriente; elemento beneficioso.

1. Introdução

A beterraba (*Beta vulgaris* L.) é uma dicotiledônea pertencente à Família *Amaranthaceae*. São três os tipos de beterraba existentes: beterraba hortícola, ou de mesa; beterraba forrageira e beterraba açucareira. No Brasil somente a beterraba hortícola é cultivada comercialmente, sendo a cultivar Early Wonder a mais conhecida. Ainda que a beterraba não pertença ao grupo de hortaliças de maior valor econômico é uma cultura de suma importância para um grande número de agricultores familiares dos cinturões verdes que apresentam grande diversidade de cultivo de hortaliças (Correa et al., 2014).

O potássio (K) altamente requerido pela beterraba para o seu efetivo crescimento e desenvolvimento, é bastante exigido pela cultura. O K é essencial para o processo fotossintético, transporte de açúcar das folhas para as raízes e redução do estresse oxidativo. Outra função do K muito importante é a manutenção do potencial osmótico da planta, o turgor celular e a regulação da abertura e fechamento dos estômatos. A manutenção do potencial osmótico, uma função não específica do K, pode ser compensada por outros cátions, como cálcio (Ca), magnésio (Mg) e sódio (Na). Sendo o Na mais eficiente que os outros elementos, porque é estrutural e quimicamente muito semelhante ao K (Barlóg et al., 2018).

Por outro lado, o Na é um elemento considerado tóxico para maioria das plantas cujos efeitos mais generalizados são o murchamento, o amarelecimento, a redução do crescimento e da produtividade; porém o Na pode ser benéfico para algumas plantas. A beterraba é uma planta halófito e natrófilo e, portanto, não cria barreira contra o fluxo de íons Na^+ das raízes para as folhas. Em algumas cultivares de beterraba foi observado que o Na pode substituir o K presente nos tecidos das plantas, com segurança, até certos níveis percentuais sem diminuir a produção. Além disso, o Na tem efeitos benéficos no balanço hídrico, na espessura e área foliar, devido a um aumento da taxa de expansão celular e no número e atividade dos estômatos (Barlóg et al., 2018).

Solos salinos onde é frequente a presença de Na podem causar prejuízos às plantas cultivadas que os habitam. O problema causado por sais a cultura é o estresse devido à alta condutividade elétrica da solução do solo, que inibe a absorção de água pela cultura, reduz a condutância estomática e diminui a fotossíntese (Kudo et al., 2010).

A tolerância ao estresse salino, particularmente ao Na, depende da capacidade da planta em excluir o Na e manter balanço nutricional (Plett & Moller, 2010). Assim, a tolerância ao Na está relacionada com a capacidade da planta em absorver quantidades satisfatórias dos nutrientes K, Ca e Mg em contraposição à inibição competitiva por Na e assim manter a concentração iônica adequada dos nutrientes nos tecidos vegetais. Kudo et al. (2010), observaram que a cultura da beterraba apresentou uma grande tolerância a salinidade e um desejável crescimento em soluções salinas.

A salinização, que proporciona perdas no rendimento da maioria das culturas pode favorecer o cultivo da beterraba, que aproveita o Na em substituição ao K quando aplicado em adição à nutrição potássica (Malavolta, 2006; Plett & Moller, 2010; Wakeel et al., 2010; Wakeel et al., 2011)

Os efeitos dos nutrientes no crescimento e na produção são largamente estudados em termos das suas funções no metabolismo das plantas e, conhecimentos sobre a proporção adequada de Na em substituição ao K no crescimento e desenvolvimento da beterraba hortícola ainda são relativamente restritos. Assim, a questão da substituição do K pelo Na na fisiologia das plantas não é apenas uma questão de interesse científico, mas também tem implicações práticas consideráveis em relação ao manejo de fertilizantes e crescimento de plantas em ambientes afetados por sais. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a resposta da nutrição com Na em substituição e em adição à nutrição potássica sobre a produção de matéria seca da parte aérea, da raiz e total, bem como nos teores de nutrientes da beterraba hortícola.

2. Metodologia

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras. As sementes de beterraba cv. Early Wonder Tall Top foram semeadas em bandejas de poliestireno expandido de 288 células, utilizando-se substrato Plantmax[®] (CE = 1,8 dS m⁻¹, pH = 5,6). Colocou-se um glomérulo de beterraba por célula a 5 mm de profundidade. Os glomérulos foram previamente imergidos em água por 12 horas para uniformizar a germinação. As bandejas foram irrigadas três vezes ao dia com água deionizada e uma vez ao dia com solução de sulfato de cálcio 10⁻⁴ mol L⁻¹ durante a fase de germinação.

Aos 20 dias após semeadura (DAS), as plântulas foram transferidas para bandejas plásticas de 40 L com solução nutritiva de Hoagland (Hoagland & Arnon, 1950) a 10 % de sua força iônica para adaptação. Aos 42 DAS, as plantas foram submetidas aos tratamentos em vasos plásticos com capacidade de 3 L; sendo uma planta por vaso. A submissão inicial aos tratamentos foi de 40 % da força iônica da solução de Hoagland, aumentando-se gradativamente até 100 % fazendo-se renovação da solução quinzenalmente até a colheita. As soluções de cultivo foram mantidas em aeração constante com o uso de borbulhador acoplado a uma mangueira do compressor de ar.

O delineamento experimental adotado foi inteiramente ao acaso com três repetições e sete tratamentos, sendo cinco proporções de substituição de potássio pelo sódio e duas adições de sódio: T1 (100% K e 0 % Na), T2 (75% K e 25% Na), T3 (50% K e 50% Na), T4 (25 % K e 75% Na), T5 (0% K e 100 % Na), T6 (100% K e 25 % Na) e T7 (100 K e 50 % Na); com base na dose de K recomendada para a solução de Hoagland. Assim, as concentrações de K e Na nos tratamentos foram: T1 (6,0 mmol L⁻¹ K – 0 mmol L⁻¹ Na); T2 (4,5 mmol L⁻¹ K – 1,5 mmol L⁻¹ Na); T3 (3,0 mmol L⁻¹ K – 3,0 mmol L⁻¹ Na); T4 (1,5 mmol L⁻¹ K – 4,5 mmol L⁻¹ Na); T5 (0 mmol L⁻¹ K – 6,0 mmol L⁻¹ Na); T6 (6,0 mmol L⁻¹ K – 1,5 mmol L⁻¹ Na) e T7 (6 mmol L⁻¹ K – 3 mmol L⁻¹ Na). As fontes de K e Na utilizadas foram KNO₃ e NaNO₃ p.a.

Aos 100 DAS foi realizado a colheita das plantas. A parte aérea (limbo foliar e pecíolo) foi separada da raiz. Ambas as partes das plantas foram lavadas com água destilada e ensacadas para posterior secagem em estufa com aeração forçada e temperatura controlada a 65 °C até o peso constante, para a obtenção da matéria seca da parte aérea (MSPA), das raízes (MSR) e total (MST) e dos teores minerais da parte aérea e da raiz das plantas.

Os procedimentos utilizados para determinação dos teores minerais foram: o extrato de N foi obtido por digestão sulfúrica e o teor de N foi determinação pelo método semimicro Kjeldahl e titulação (Tedesco et al., 1995). O extrato de P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn, Zn e Na foram obtidos por digestão nítrico-perclórica. A determinação do teor de P foi por espectrofotômetro UV-Vis com azul-de-molibdênio. Os teores de K e Na foram determinados por espectrofotômetro de chama. Os teores de Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn foram determinados por espectrofotômetro de absorção atômica. O teor de S foi determinado por espectrofotômetro UV-Vis com cloreto de bário (Silva, 2009).

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste de F (p-valor ≤ 0,05) e as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste Scott-Knott (p-valor ≤ 0,05). As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software Sisvar (Ferreira, 2020).

3. Resultados e Discussão

Observa-se pela Tabela 1 que a matéria seca da parte aérea (MSPA) das plantas de beterraba não diferiu significativamente entre os tratamentos estudados. Nota-se também que houve diferenças entre os tratamentos quanto à matéria seca da raiz (MSR) e matéria seca total (MST) das plantas de beterraba. Contudo, é importante ressaltar que a MSPA das plantas de beterraba sob os diferentes tratamentos, mesmo não diferindo significativamente entre si, observou-se que aquelas plantas submetidas à adição de 25 % de Na à solução já contendo 100% do K recomendado (T6) apresentou valores maiores que o restante dos tratamentos, fato observado para o mesmo tratamento quando se avaliou a MSR. El-Sheikh et al. (1967) e Wakeel et al. (2010) observaram maiores produções de MSPA e MSR de plantas de beterraba açucareira quando as plantas foram submetidas aos tratamentos em que houve adição de Na no solo (0,032 g kg⁻¹).

Tabela 1. Valores da produção de matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca da raiz (MSR) e matéria seca total (MST) de plantas de beterraba cv. Early Wonder Tall Top submetidas a variações nas porcentagens de Na e K em solução nutritiva.

Tratamentos	MSPA	MSR	MST
	----- g planta ⁻¹ -----		
T1 ¹	5,84 ^{ns}	10,17 b ²	16,36 a
T2	5,34	11,98 b	17,55 a
T3	5,02	9,28 c	14,29 b
T4	3,30	6,23 d	9,76 b
T5	4,83	6,63 d	11,45 b
T6	6,33	14,63 a	20,96 a
T7	5,80	11,96 b	17,76 a
CV (%)	22,83	12,27	18,30

¹T1 (100% K e 0 % Na), T2 (75% K e 25% Na) , T3 (50% K e 50% Na), T4 (25 % K e 75% Na), T5 (0% K e 100 % Na), T6 (100% K e 25 % Na) e T7 (100 K e 50 % Na). ²Grupos de médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott (P ≤ 0,05). Fonte: Autores (2020).

A MSR das plantas de beterraba apresentou maior valor médio (14,63 g planta⁻¹) sob adição de 25 % de Na à solução já contendo 100% do K recomendado (T6), quando comparado com os demais tratamentos que variaram de 6,23 a 11,98 g planta⁻¹. Enquanto que, a MSR das

plantas que não receberam Na (T1) não diferiu do tratamento em que houve substituição de 25 % de Na por K na solução (T2), bem como daquelas plantas que receberam adição de Na em 50 % à solução já contendo 100% do K recomendado (T7). Houve uma redução significativa de MSR das plantas de beterraba com a substituição de K por Na a partir de 50 % (T3, T4 e T5).

Os maiores valores para MST foram observados nas condições em que as plantas receberam adições de 25% e 50% de Na à solução já contendo 100% do recomendado (T6 e T7) - evidenciando a razoável tolerância da beterraba à presença de Na; bem como no tratamento T2 (substituição de 25% de K por Na). Plett & Moller (2010) e Wakeel et. al (2010) observaram que algumas cultivares de beterraba permitem a substituição parcial do K pelo Na, sendo essa troca especialmente em algumas funções osmóticas.

Ainda pela Tabela 1 pode-se notar a redução da produção de MST em condições de substituição do K por Na a partir de 50 % (T3, T4 e T5), esta redução pode ser devida ao decréscimo da concentração de K na solução, além de um possível efeito negativo causado pela presença do Na. Esse efeito negativo do Na pode ser atribuído a uma ação tóxica direta no tecido celular (Malavolta, 2006; Carmona et al., 2009).

Vale ressaltar que, os resultados verificados no tratamento que teve 100 % do K substituído pelo Na (T5), apresentou reduções na ordem de 17, 35 e 30 % da produção de MSPA, MSR e MST respectivamente, quando comparado ao tratamento que não recebeu Na (T1). Tal tratamento apresentou uma produção insatisfatória para uma condição de total substituição do K pelo Na.

No entanto, é importante destacar que, antes da aplicação dos tratamentos, todas as plantas do experimento estiveram sob solução nutritiva completa em nutrientes (inclusive o K), para adaptação. Desse modo, esse K absorvido pelas plantas, durante a fase inicial de desenvolvimento pode ter contribuído, em parte, com o posterior crescimento das mesmas durante o período de avaliação. As espécies vegetais têm a tendência de absorver o K⁺ em quantidades acima da atual necessidade, ficando o excedente armazenado no vacúolo da célula (Rodríguez-navarro & Rubio, 2006).

Além da nutrição potássica e sua relação com o sódio nas plantas de beterraba, também foi avaliado o efeito dos tratamentos sobre os demais nutrientes neste trabalho. Os teores de S e B na MSPA não foram significativos pelo teste F da análise de variância, enquanto que na MSR, apenas o teor de Ca não foi significativo ($P > 0,05$). Observa-se pelas Tabelas 2 e 3 que os tratamentos diferiram entre si para os teores de nutriente na MSPA (exceto N) e MSR de

plantas de beterraba submetidas a variações nas porcentagens de Na e K em solução nutritiva, quando comparadas as médias pelo teste Scott-Knott ($P \leq 0,05$).

Tabela 2. Teores de Na, K, N, P, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn na matéria seca da parte aérea (MSPA) de plantas beterraba cv. Early Wonder Tall Top submetidas a variações nas porcentagens de Na e K em solução nutritiva.

Tratamentos	Na	K	N	P	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
	g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹			
T1 ¹	18,65 ² c	38,60 a	37,60 a ²	5,99 d	15,57 a	15,08 a	5,93 b	93,92 c	225,72 a	39,03 b
T2	19,95 b	39,60 a	36,09 a	7,69 c	13,36 b	10,55 c	5,75 b	87,11 c	206,49 b	41,33 b
T3	20,70 b	42,20 a	38,60 a	9,51 b	12,14 b	9,30 d	4,21 c	61,70 d	183,68 b	30,45 c
T4	23,30 a	40,07 a	32,20 a	9,10 b	10,37 b	12,73 b	2,81 c	113,28 b	250,88 a	60,76 a
T5	25,20 a	30,60 b	40,47 a	11,65 a	11,57 b	9,37 d	6,20 b	150,66 a	201,01 b	31,86 c
T6	18,00 b	37,40 a	38,77 a	8,20 c	16,70 a	13,48 b	12,28 a	113,49 b	202,85 b	32,57 c
T7	16,53 b	42,27 a	41,30 a	7,42 c	11,17 b	10,88 c	12,91 a	97,97 c	199,02 b	40,38 b
CV (%)	6,98	5,02	7,27	10,34	10,28	7,15	12,06	4,74	8,92	8,04

¹T1 (100% K e 0 % Na), T2 (75% K e 25% Na), T3 (50% K e 50% Na), T4 (25 % K e 75% Na), T5 (0% K e 100 % Na), T6 (100% K e 25 % Na) e T7 (100 K e 50 % Na). ²Grupos de médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott ($P \leq 0,05$). Fonte: Autores (2020).

Tabela 3. Teores Na, K, N, P, Mg, S, B, Fe, Mn e Zn na matéria seca da raiz (MSR) de plantas de beterraba cv. Early Wonder Tall Top submetidas a variações nas porcentagens de Na e K em solução nutritiva.

Tratamentos	Na	K	N	P	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹				
T1 ¹	9,63 ² c	30,40 a	28,15 a	5,26 b	13,13 a	1,63 a	33,90 a	15,26 b	399,64 b	136,76 b	44,25 b
T2	4,40 d	24,00 c	23,40 b	4,78 b	9,39 c	1,83 a	23,03 d	18,30 a	377,69 b	113,61 c	36,09 c
T3	7,40 c	24,30 c	20,60 c	4,85 b	12,17 b	0,89 b	19,68 f	14,15 b	364,65 b	131,26 b	35,47 c
T4	7,95 c	26,40 c	25,40 b	6,55 a	14,04 a	1,57 a	26,54 c	14,81 b	321,05 c	154,40 b	51,75 a
T5	19,50 a	23,40 c	30,70 a	5,29 b	11,75 b	0,51 c	27,96 b	14,80 b	454,68 a	201,71 a	45,34 b
T6	12,70 b	25,40 c	24,93 b	4,64 b	11,66 b	1,18 b	21,52 e	14,82 b	437,17 a	142,08 b	42,96 b
T7	12,80 b	27,20 b	24,40 b	4,60 b	10,00 c	1,83 a	21,53 e	17,85 a	393,74 b	203,17 a	33,54 c
CV (%)	14,02	4,82	6,86	9,84	6,09	12,88	3,23	6,38	5,43	6,99	7,27

¹T1 (100% K e 0 % Na), T2 (75% K e 25% Na), T3 (50% K e 50% Na), T4 (25 % K e 75% Na), T5 (0% K e 100 % Na), T6 (100% K e 25 % Na) e T7 (100 K e 50 % Na). ²Grupos de médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott ($P \leq 0,05$). Fonte: Autores (2020).

Em geral, o aumento da proporção de Na na solução nutritiva foi acompanhado com o teor na MST, porém na MSR não se verificou tal tendência. Essa não tendência de acréscimo

nos teores de Na à medida de que se aumentou a proporção de Na na solução nutritiva pode ser devido ao transporte do Na presente nas raízes para a parte aérea da planta, onde houve maior teor de Na. Fato que pode estar associado à tolerância da beterraba aos efeitos dos sais. No entanto, as plantas sob o tratamento em que houve total substituição de K por Na (T5) apresentaram os maiores valores médios de teores do elemento ($19,50 \text{ g kg}^{-1}$) seguidos dos tratamentos com adições de Na em solução nutritiva contendo 100% de K (T6 e T7).

Pode-se notar pelas Tabelas 2 e 3 que, a beterraba concentrou mais o Na na MSPA do que MSR, mas esse fato não causou danos significativos à parte aérea da planta. A maioria das plantas halófitas (e.g., beterraba) pode tolerar altas concentrações de Na nos tecidos, sobretudo nas folhas, enquanto as plantas glicófitas translocam menos Na^+ para as folhas e retêm Na^+ nas raízes e abaixo do caule (Wakeel et al., 2011). A capacidade de uma planta ser tolerante ou não a certos íons e poder se beneficiar disso depende do mecanismo de absorção seletiva da planta; neste caso, seletividade para o Na e o K. No geral, o vacúolo e o citosol são os compartimentos responsáveis pela seletividade dos íons. Quando o citosol acumula íons, algumas plantas retiram-nos para o vacúolo das células vegetais (Wakeel et al., 2011). Nesse sentido, o K no vacúolo pode ter sido disponibilizado para planta enquanto foi trocado pelo Na. Entretanto, com o aumento da concentração de Na em substituição ao K (T3, T4 e T5) a planta pode ter apresentado efeitos deletérios refletindo na redução do crescimento (Tabela 1) das plantas, embora a adição de 25% de Na ao K (T6) tenha demonstrado incremento relevante na matéria seca, assim como nos teores de K, Ca e Cu na MSPA (Tabela 2).

O teor de K na MSPA (Tabela 2) apresentou diferença significativa entre os tratamentos, quanto a substituição de 100 % do K pelo Na (T5) que teve a absorção de K drasticamente reduzida, resultado esse esperado já que o T5 não recebeu K na solução nutritiva, sendo essa redução de $38,60 \text{ g kg}^{-1}$ (T1) para $30,60 \text{ g ha}^{-1}$ (T5); variação cerca de 21%. Já para o teor de K na MSR (Tabela 3) observa-se que no tratamento T1 (100% K e 0% Na) obteve-se o maior valor de teor ($30,40 \text{ g kg}^{-1}$) desse nutriente e que a adição de Na bem como a substituição por Na reduziu a absorção de K pelas plantas, sendo essa redução de 11 (T5) a 23% (T7).

Analisando-se os valores de teores apresentados nas Tabelas 2 e 3, verifica-se que os mesmos foram bem maiores para o K em comparação ao Na, mesmo no tratamento T3, em que a concentração de K e Na na solução nutritiva foram iguais ($3,0 \text{ mmol L}^{-1} \text{ K} - 3,0 \text{ mmol L}^{-1} \text{ Na}$), nesse caso, os teores de Na na MSPA e MSR foram 51 e 70 % menor em relação ao de K, evidenciando que a cultura da beterraba possui mecanismos de absorção diferenciada para esses elementos. Malavolta (2006) menciona que a absorção do K^+ pelas plantas ocorre por transportadores de alta afinidade e via canais proteicos, enquanto que a absorção do Na^+ seja

mais provável de ocorrer apenas pelo último mecanismo. Contudo, a possibilidade de haver um mecanismo de alta afinidade para a absorção do Na^+ é contestada (Rodríguez-Navarro & Rubio, 2006). Vale declarar que, a plantas neste estudo não apresentaram deficiências nutricionais visuais de K, mostrando que o Na supriu alguma função do K ausente. Figdore et al. (1987) relatam em seus trabalhos que o Na substituiu o K em condições de estresse potássico em cultivares de tomate.

Os teores foliares não apresentaram diferenças significativas para o nutriente N na MSPA, mas na MSR houve diferenças entre os tratamentos. E, observou-se que nos tratamentos em que foi adicionado Na em soluções nutritivas contendo dose recomendada de K (T6 e T7) verificou-se redução nos teores de N na MSR comparado ao tratamento sem a presença de Na (T1). Diferentemente do encontrado neste estudo, onde não houve tendência de aumento ou diminuição em função das proporções crescentes de substituições de K por Na, Adams (1961) verificou que o teor de N na parte aérea diminuiu com o aumento de Na_2O , enquanto que na raiz, o teor de N aumentou, em plantas de beterraba açucareira.

O teor de P na MSPA da beterraba tendeu aumentar com aumento da proporção de Na na solução nutritiva. Enquanto, o teor de P na raiz beterraba foi menos influenciado pelo Na na solução. François, 1987 e Sharma et al. 2018 verificaram que em aspargos e beterraba, o teor de P aumentou com o aumento da concentração salina contendo Na.

A ausência de Na na solução (T1) promoveu maior teor de Mg na MSPA, enquanto que na MSR, o maior teor de Mg foi verificado na ausência de Na e na substituição de 75 % de K por Na (T1 e T4). O teor de Ca na MSR não foi afetado significativamente. Na MSPA, os teores de Ca foram maiores em condições de adição de 25 % de Na à solução de cultivo (T6) e pela ausência de Na (T1). Adams (1961) verificou que o teor de Mg variou algumas vezes na parte aérea da beterraba açucareira. Larson & Pierre (1953) relataram que os teores de Ca e Mg aumentaram na ausência de Na em beterrabas de mesa. El-Sheikh et al. (1967), estudando a substituição de K por Na em beterraba açucareira, encontraram que, no geral, os teores de Ca e Mg diminuíram com o aumento de NaCl em solução de cultivo. Quanto ao teor de S, este não foi afetado significativamente na MSPA. Já na raiz, T1, T2, T4 e T7 diferiram dos demais tratamentos.

O teor de B na MSPA não foi significativamente afetado pelos tratamentos, mas na MSR o maior teor ocorreu na ausência de Na solução nutritiva (T1). Observa-se que o teor de Zn foi significativamente afetado na MSPA e MSR. Para a MSPA da beterraba, o tratamento com 75 % de Na em substituição ao K (T4) promoveu maior teor de Zn, ao passo que 75 % de Na em substituição ao K (T4) promoveu maior teor de Zn na MSR.

Na MSPA e MSR da beterraba, o teor de Fe foi maior no tratamento com 100 % de Na em substituição ao K (T5), ainda na MSR notou-se também maior valor nas condições de adição de 25 % de Na à quantidade adequada de K (T6). Quanto ao teor de Mn na MSPA, T1 e T4 promoveram maior teor, enquanto na MSR, o maior teor de Mn foi devido aos tratamentos T5 e T7. O teor de Cu na MSPA foi maior nos tratamentos com 25 % (T6) e 50 % (T7) de Na adicional. Na MSR, o maior teor de Cu ocorreu devido à substituição de 25% de K por Na (T2) e à adição de 50 % de Na à quantidade adequada de K (T7).

A absorção de K na MSPA e na MSR das plantas de beterraba foi maior que a dos demais macronutrientes (exceto em T5). Adams (1961) também verificou que K foi o nutriente mais absorvido pela beterraba açucareira sob fertilização com Na e K. Alves et al. (2008), estudando a omissão de K em plantas de beterraba açucareira em solução nutritiva, verificaram que o K se manteve como o nutriente em maior teor na planta. Gondim et al. (2011) também verificaram que o K foi o nutriente mais acumulado na parte aérea e raiz da beterraba Early Wonder Tall Top, divergindo de Grangeiro et al. (2007) que encontraram o N como o nutriente com maior acúmulo e exportação na cultivar de beterraba Early Wonder. E, a absorção de Mn na MSPA das plantas de beterraba foi maior que a dos demais micronutrientes, corroborando com o trabalho de Gondim et al. (2011). Já para para MSR a absorção de Fe foi maior entre micronutrientes.

A cultura da beterraba produziu relativamente bem em condições de substituição parcial de K por Na (T2), bem como onde houve adições de Na à solução nutritiva contendo quantidade adequadas de K (T6 e T7). Neste sentido, o fato do Na poder substituir em parte o K e a presença do elemento onde há proporções adequadas de K não afetar significativamente o crescimento das plantas, levanta a possibilidade de: a) Fornecimento de uma fração da dose de K_2O na adubação por produtos contendo Na, como o cloreto de sódio (Na Cl; 39 % de Na), o salitre ($NaNO_3$; 27 % de Na) e o salitre potássico ($NaNO_3.KNO_3$; 12 % de Na). Mas o uso dessas fontes deve, no entanto, levar em consideração bases experimentais, as espécies responsivas e a viabilidade técnica e econômica. b) o cultivo de beterraba ser uma alternativa de uso de solos onde há presença de Na em quantidades que geralmente afetam o crescimento e desenvolvimento de culturas menos tolerantes.

4. Considerações Finais

A beterraba cv. Early Wonder Tall Top produz satisfatoriamente sob aplicações regulares de K com adição de Na, bem como quando se substitui parcialmente o potássio ao

nível de 25 % de Na fornecido na solução de cultivo. Contudo, estudos com solo que apresente diferentes teores de Na são necessários, a fim de verificar seu comportamento nessa situação.

Os teores de macro e micronutrientes são afetados pela adição de Na na solução de cultivo da beterraba.

Há a possibilidade de se fornecer parte da dose de K₂O na adubação da cultura da beterraba por produtos que contendo Na.

O cultivo de beterraba hortícola pode ser uma alternativa apropriada de uso de solos sob determinadas condições salinas.

Agradecimento

À professora Dr^a Janice Guedes de Carvalho (*in memoriam*) pelos ensinamentos prestados durante a condução do experimento.

Referências

Adams, S. N. (1961). The effect of sodium and potassium fertilizer on the mineral composition of sugar beet. *The Journal of Agricultural Science*, 56(3), 383-388. Acesso em 02 de junho de 2020, em DOI <https://doi.org/10.1017/S0021859600049844>

Alves, A. U.; Prado, R. de M.; Gondim, A. R. de O.; Fonseca, I. M. & Cecílio Filho, A. B. (2008). Desenvolvimento e estado nutricional da beterraba em função da omissão de nutrientes. *Horticultura Brasileira*, 26(2), 292-295. Acesso em 02 de junho de 2020, em DOI <https://doi.org/10.1590/S0102-05362008000200033>

Barlóg, P., Szczepaniak, W., Grzebisz, W. & Pogłodziński, R. (2018). Sugar beet response to different K, Na and Mg ratios in applied fertilizers. *Plant, Soil and Environment*, 64(4), 173-179. Acesso em 02 de junho de 2020, em DOI <https://doi.org/10.17221/809/2017-PSE>

Carmona, F. D. C., Anghinoni, I., Meurer, E. J., Holzschuh, M. J., & Fraga, T. I. (2009). Estabelecimento do arroz irrigado e absorção de cátions em função do manejo da adubação potássica e do nível de salinidade no solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33(2), 371-383. Acesso em 02 de junho de 2020, em DOI <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000200015>

Correa, C. V., Cardoso, A. I. I., DE Souza, L. G., Antunes, W. L. P., & Magolbo, L. A. (2014). Produção de beterraba em função do espaçamento. *Horticultura Brasileira*, 32(01). Acesso em 02 de junho de 2020, em DOI <https://doi.org/10.1590/hb.v32i01.27>

El-Sheikh, A. M., Ulrich, A., & Broyer, T. C. (1967). Sodium and rubidium as possible nutrients for sugar beet plants. *Plant physiology*, 42(9), 1202-1208. Acesso em 02 de junho de 2020, em DOI <https://doi.org/10.1104/pp.42.9.1202>

Figdore, S. S., Gabelman, W. H., & Gerloff, G. C. (1987). The accumulation and distribution of sodium in tomato strains differing in potassium efficiency when grown under low-K stress. In *Genetic Aspects of Plant Mineral Nutrition* (pp. 353-360). Springer, Dordrecht. Acesso em 02 de junho de 2020, em DOI <https://doi.org/10.1007/BF02370156>

Francois, L. E. (1987). Salinity effects on asparagus yield and vegetative growth. *Journal of the American Society for Horticultural Science (USA)*. 112 (3), 432-436.

Gondim, A. R. O., Correia, M. A. R., Alves, A. U., Prado, R. M., Cecílio Filho, A. B. Crescimento e marcha de acúmulo de nutrientes em plantas de beterraba cultivadas em sistema hidropônico. *Bioscience Journal*, Uberlândia, v. 27, n. 4, p. 526-535, 2011. Acesso em 25 de abril de 2020, em DOI <http://hdl.handle.net/11449/3375>

Grangeiro, L. C., Negreiros, M. Z. D., Souza, B. S. D., Azevêdo, P. E. D., Oliveira, S. L. D., & Medeiros, M. A. D. (2007). Acúmulo e exportação de nutrientes em beterraba. *Ciência e Agrotecnologia*, 31(2), 267-273. Acesso em 02 de junho de 2020, em DOI <https://doi.org/10.1590/S1413-70542007000200001>

Hoagland, D. R., & Arnon, D. I. (1950). The water-culture method for growing plants without soil. *Circular. California agricultural experiment station*, 347(2nd edit). Acesso em 02 de junho de 2020, em <http://hdl.handle.net/2027/uc2.ark:/13960/t51g1sb8j>

Kudo, N., Sugino, T., Oka, M., & Fujiyama, H. (2010). Sodium tolerance of plants in relation to ionic balance and the absorption ability of microelements. *Soil Science & Plant*

Nutrition, 56(2), 225-233. Acesso em 02 de junho de 2020, em DOI <https://doi.org/10.1111/j.1747-0765.2009.00436.x>

Larson, W. E., & Pierre, W. H. (1953). Interaction of sodium and potassium on yield and cation composition of selected crops. *Soil Science*, 76(1), 51-64. Acesso em 02 de junho de 2020, em https://journals.lww.com/soilsci/Citation/1953/07000/Interaction_of_Sodium_and_Potassium_on_Yield_and.6.aspx

Malavolta, E. (2006). *Manual de nutrição mineral de plantas*. São Paulo: Agronômica Ceres. 638 p.

Plettl, D. C. & Moller, I. S. (2010). Na⁺ transport in glycophytic plants: what we know and would like to know. *Plant Cell & Environment*, 33(4), 612-626. Acesso em 02 de junho de 2020, em DOI <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2009.02086.x>

FERREIRA, Daniel Furtado. SISVAR: A COMPUTER ANALYSIS SYSTEM TO FIXED EFFECTS SPLIT PLOT TYPE DESIGNS. REVISTA BRASILEIRA DE BIOMETRIA, [S.l.], v. 37, n. 4, p. 529-535, dec. 2019. ISSN 1983-0823. Disponível em: <<http://www.biometria.ufla.br/index.php/BBJ/article/view/450>>. Acesso em: 10 abr. 2020, em DOI <https://doi.org/10.28951/rbb.v37i4.450>.

Rodríguez-Navarro, A., & Rubio, F. (2006). High-affinity potassium and sodium transport systems in plants. *Journal of experimental botany*, 57(5), 1149-1160. Acesso em 02 de junho de 2020, em DOI <https://doi.org/10.1093/jxb/erj068>

Sharma, S., Sharma, A., & Singh, D. (2018). Effect of sodium selenate on photosynthetic efficiency, antioxidative defence system and micronutrients in maize (*Zea mays*). *Biologia*, 73(2), 137-144. Acesso em 02 de junho de 2020, em DOI <https://doi.org/10.2478/s11756-018-0017-6>

Silva, F. C. (2009). *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica. 627p.

Tedesco, M. J. Gianello, C.; Bissani, C. A.; Bohem, H. & Volkeweiss, S. (1995). *Análise de solo, plantas e outros materiais*. 2.ed. Porto Alegre: UFRGS. 147p. (Boletim técnico, 5)

Wakeel, A., Steffens, D., & Schubert, S. (2010). Potassium substitution by sodium in sugar beet (*Beta vulgaris*) nutrition on K-fixing soils. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 173(1), 127-134. Acesso em 02 de junho de 2020, em DOI <https://doi.org/10.1002/jpln.200900270>

Wakeel, A., Farooq, M., Qadir, M., & Schubert, S. (2011). Potassium substitution by sodium in plants. *Critical reviews in plant sciences*, 30(4), 401-413. Acesso em 02 de junho de 2020, em DOI <https://doi.org/10.1080/07352689.2011.587728>

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Alisson Lucrécio da Costa – 40%

Karina Fernandes Carvalho – 35%

Nilma Portela Oliveira – 25%