

**PRODUÇÃO E COMPOSIÇÃO MINERAL DA  
BETERRABA SOB DOSES DE SÓDIO E  
POTÁSSIO, EM SOLUÇÃO NUTRITIVA**

**KARINA FERNANDES CARVALHO**

2008

**KARINA FERNANDES CARVALHO**

**PRODUÇÃO E COMPOSIÇÃO MINERAL DA BETERRABA SOB  
DOSES DE SÓDIO E POTÁSSIO, EM SOLUÇÃO NUTRITIVA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Fitotecnia, para obtenção do título de “Mestre”.

Orientador  
Prof. Dr. Marco Antônio Rezende Alvarenga

LAVRAS  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2008

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da  
Biblioteca Central da UFLA**

Carvalho, Karina Fernandes.

Produção e composição mineral da beterraba sob doses de sódio e potássio, em solução nutritiva / . -- Lavras : UFLA, 2008.  
52 p. : il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2008.

Orientador: Marco Antônio Rezende Alvarenga

Bibliografia.

1. *Beta Vulgaris L.* var. *crassa*. 2. Adição. 3. Salinidade. 4. Nutrição. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD- 635.1198

**KARINA FERNANDES CARVALHO**

**PRODUÇÃO E COMPOSIÇÃO MINERAL DA BETERRABA SOB  
DOSES DE SÓDIO E POTÁSSIO, EM SOLUÇÃO NUTRITIVA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Fitotecnia, para obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 01 de Julho de 2008

Profa. Dra. Janice Guedes de Carvalho	DCS / UFLA
Prof. Dr. Luiz Antonio Augusto Gomes	DAG / UFLA
Prof. Dr. Rovilson José de Souza	DAG / UFLA

Prof. Dr. Marco Antônio Rezende Alvarenga  
DAG / UFLA  
(Orientador)

LAVRAS  
MINAS GERAIS – BRASIL

A Deus, Pai de Eterna Bondade,

**OFEREÇO**

Aos meus pais Carvalho e Ilzete,  
Aos meus irmãos Talyta e Itallo,  
Aos meus avós Ana, Raimundo (*in memorian*), Maria e Gerardo (*in memorian*),  
Aos meus tios Isnádia, Célia e José (*in memorian*),  
Aos amigos Câmara Filho, Nilzilene e Ana Angélica,  
e demais familiares e amigos,

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da Vida e por seu Amor eterno;  
À minha família, pelo apoio e ensinamentos éticos;  
À Universidade Federal de Lavras pela oportunidade;  
Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)  
pela concessão da bolsa de estudos;  
Ao Excelentíssimo Presidente da República Luís Inácio Lula da Silva, pelo  
aumento do valor das bolsas de estudo e pelo aumento no número de bolsas;  
Ao professor Marco Antônio Rezende Alvarenga pela disponibilidade de  
orientação e pelos ensinamentos oferecidos no decorrer do curso;  
À professora Janice Guedes de Carvalho pela orientação na condução do  
experimento, ensinamentos e paciência;  
Aos professores Rovilson José de Souza e Luis Antônio Augusto Gomes pelos  
ensinamentos oferecidos no decorrer do curso e pelas sugestões.  
A Adalberto Ribeiro pela realização das análises laboratoriais;  
À Marli e a Nelzy, secretárias da Pós-Graduação, pela disponibilidade e  
informações;  
Ao professor José Albérico de Araújo Lima, pelo apoio e amizade;  
Ao amigo Francisco de Assis Câmara, pelo incentivo;  
Aos amigos cearenses, Anatórcia, Danilo, Renata, Alexandre, Anicete e Ana  
Luiza, goianos, Vivian e Eduardo, e mineira, Júlia, pela amizade;  
Aos colegas do Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas, Nilma e Alisson;  
Aos demais colegas, Fabíola (RJ), Vanderley (AL), Jessé Valentim (AL),  
Roberto (TO), Maria do Céu (PB), Jessé Jr. (AL), Éberson (MG), Luciene (MG),  
Dheyne (CE) e Edvânia (AL), pelos momentos de confraternização.  
E a todos àqueles que contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

MUITO OBRIGADA!

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS .....	i
LISTA DE FIGURAS.....	iii
RESUMO.....	iv
ABSTRACT .....	v
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REFERENCIAL TEÓRICO .....	3
2.1 Aspectos culturais da beterraba hortícola .....	3
2.1.1 Propriedades nutracêuticas da beterraba hortícola.....	4
2.1.2 Cultivo hidropônico de hortaliças .....	6
2.2 Nutrição mineral de plantas com sódio.....	7
2.3 Potássio na nutrição mineral da beterraba .....	10
2.4 Sódio em substituição a nutrição com potássio .....	11
2.5 Sódio e potássio sobre a disponibilidade de nutrientes.....	13
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	16
3.1 Caracterização e condução do experimento.....	16
3.2 Material vegetal experimental .....	17
3.3 Delineamento experimental e análise estatística.....	17
3.4 Avaliação experimental .....	18
3.4.1 Avaliação do crescimento e da produção da beterraba hortícola.....	18
3.4.2 Avaliação da composição mineral da beterraba hortícola .....	18
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	20
4.1. Crescimento e produção da beterraba hortícola.....	20
4.2 Composição mineral da beterraba hortícola .....	28
4.2.1 Concentração de macronutrientes na beterraba hortícola .....	32
4.2.2 Concentração de micronutrientes e sódio na beterraba hortícola.....	36
4.3 Sódio e potássio sobre as relações Na:K, Na:Ca e Na:Mg .....	41
5. CONCLUSÕES .....	43
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	44

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Quadrados médios da área foliar (AF), comprimento da raiz (CP), diâmetro da raiz (DR), massa seca da parte aérea (MSP), massa seca da raiz (MSR), massa seca total (MST), massa fresca de folhas (MFL) e massa fresca de raízes (MFR) da beterraba hortícola cv. Early Wonder Tall Top. Lavras, DCS-UFLA, 2008. .... 22
- Tabela 2.** Médias da área foliar (AF), comprimento da raiz (CP), diâmetro da raiz (DR), massa seca da parte aérea (MSP), massa seca da raiz (MSR), massa seca total (MST), massa fresca de folhas (MFL) e massa fresca de raízes (MFR), da beterraba cv. Early Wonder Tall Top. Lavras, DCS-UFLA, 2008. .... 23
- Tabela 3.** Quadrados médios da concentração de macronutrientes na parte aérea da beterraba hortícola cv. Early Wonder Tall Top em solução nutritiva. Lavras, DCS-UFLA, 2008. .... 29
- Tabela 4.** Quadrados médios da concentração de macronutrientes na raiz da beterraba hortícola cv. Early Wonder Tall Top em solução nutritiva. Lavras, DCS-UFLA, 2008. .... 29
- Tabela 5.** Quadrados médios da concentração de micronutrientes e sódio na parte aérea da beterraba hortícola cv. Early Wonder Tall Top em solução nutritiva. Lavras, DCS-UFLA, 2008. .... 30
- Tabela 6.** Quadrados médios da concentração de micronutrientes e sódio na raiz da beterraba hortícola cv. Early Wonder Tall Top em solução nutritiva. Lavras, DCS-UFLA, 2008. .... 30
- Tabela 7.** Concentrações de N, P, K, Ca e Mg na parte aérea da beterraba hortícola cv. Early Wonder Tall Top submetidas a sódio e potássio em solução nutritiva. Lavras, DCS-UFLA, 2008. .... 35
- Tabela 8.** Concentrações de N, P, K, Mg e S na raiz da beterraba hortícola cv. Early Wonder Tall Top submetidas a sódio e potássio em solução nutritiva. Lavras, DCS-UFLA, 2008. .... 35
- Tabela 9.** Concentrações de Cu, Fe, Mn, Zn e Na na parte aérea da beterraba hortícola cv. Early Wonder Tall Top submetidas a sódio e potássio em solução nutritiva. Lavras, DCS-UFLA, 2008. .... 38
- Tabela 10.** Concentrações de B, Cu, Fe, Mn, Zn e Na na raiz da beterraba hortícola cv. Early Wonder Tall Top submetidas a sódio e potássio em solução nutritiva. Lavras, DCS-UFLA, 2008. .... 38

<b>Tabela 11.</b> Quadrados médios da relação entre sódio e macronutrientes catiônicos beterraba na hortícola cv. Early Wonder Tall Top, em solução nutritiva. Lavras, DCS-UFLA, 2008. ....	41
<b>Tabela 12.</b> Relação entre sódio e macronutrientes catiônicos na beterraba hortícola cv. Early Wonder Tall Top, em solução nutritiva. Lavras, DCS-UFLA, 2008. ....	41

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Morfologia da beterraba hortícola cv. Early Wonder Tall Top cultivada em solução nutritiva sem a adição de sódio (A). Deformação de raízes por deficiência de potássio: (B) T4 – 75% Na + 25% K e (C) T5 – 100%Na + 0% K. Deformação de raiz por adição de sódio: (D) T7 – 50% Na + 100% K. Lavras, DCS-UFLA, 2007. ....21
- Figura 2.** Parte aérea da beterraba hortícola cv. Early Wonder Tall Top cultivada em solução nutritiva sob nutrição de sódio em substituição e adição ao potássio: (A) T2 – 25% Na + 75% K; (B) T3 – 50% Na + 50% K; (C) T4 – 75% Na + 25% K; (D) T5 – 100%Na + 0% K; (E) T6 – 25%Na + 100%K e (F) T7 – 50% Na + 100% K. Lavras, DCS-UFLA, 2007. ....21
- Figura 3.** Correlação entre (a) do diâmetro da raiz e da massa fresca da raiz e (b) da massa seca da raiz e da massa fresca da raiz. ....26
- Figura 4.** Correlação entre a massa seca da parte aérea e massa seca da raiz. ....27
- Figura 5.** Relação entre massa seca da raiz (MSR) e parte aérea (MSP). ....27
- Figura 6.** Teor de macronutrientes na beterraba hortícola cultivada em solução nutritiva mediante aplicação de sódio e potássio. Lavras, DCS-UFLA, 2008. ....31
- Figura 7.** Teor de micronutrientes na beterraba hortícola cultivada em solução nutritiva mediante aplicação de sódio e potássio. Lavras, DCS-UFLA, 2008. ....32
- Figura 8.** Relação entre Na e K em plantas de beterraba hortícola cultivada em solução nutritiva sob adição de sódio e potássio. Lavras, DCS-UFLA, 2008. ....39

## RESUMO

CARVALHO, Karina Fernandes. **Produção e composição mineral da beterraba sob doses de sódio e potássio, em solução nutritiva**. 2008. 52 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.\*

Altas concentrações de sódio podem diminuir o rendimento de diversas culturas. Entretanto o sódio é um elemento benéfico à beterraba, podendo substituir as funções do potássio. Estudos mostraram que o sódio é responsável pelo aumento da produção de beterraba açucareira e hortícola. O presente trabalho objetivou verificar a resposta da nutrição com sódio em substituição e em adição à nutrição potássica sobre o crescimento, produção, composição mineral e a relação do sódio com os macronutrientes catiônicos na beterraba hortícola cv. Early Wonder Tall Top. O ensaio foi conduzido em vasos e os tratamentos se constituíram em cinco substituições proporcionais de K por Na, respectivamente, 100 - 0% (T1), 75 - 25% (T2), 50 - 50% (T3), 25 - 75% (T4) e 0 - 100% (T5) e duas adições de sódio na quantidade de 25% (T6) e 50% (T7) da dose de potássio recomendada para a solução de Hoagland. Constatou-se que a substituição e a adição de Na ao K foram significativas para a área foliar, massa seca da raiz, massa seca total, massa fresca de folhas e massa fresca de raízes da beterraba. Além disso, foram significativas as concentrações de N, P, K, Ca, Mg, Zn, Fe, Mn, Cu e Na da parte aérea, e N, P, K, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn, Zn e Na da raiz e as relações Na:K, Na:Ca e Na:Mg. Concluiu-se que a beterraba produz bem sob substituição de sódio por potássio, ou sob adição de sódio junto a quantidades satisfatórias de potássio na solução, aproveitando em benefício próprio a condição salina do ambiente de cultivo.

---

\*Comitê Orientador: Marco Antônio Rezende Alvarenga - UFLA (Orientador), Janice Guedes de Carvalho (Co-orientadora) - UFLA.

## ABSTRACT

CARVALHO, Karina Fernandes. **Production and mineral composition of table beet under levels of sodium and potassium, in nutrient solution.** 2008. 52 p. Dissertation (Master on Science in Agronomy/Crop Science) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG\*

High concentrations of sodium can decrease the yield of several crops. However, sodium is a beneficial element to the table beet, it being able to replace the functions of potassium. Studies have showed that sodium is responsible for increased sugar beet and table beet yield. The present work aimed to verify the response of sodium nutrition in replacement and in addition to potassium nutrition on the growth, yield, mineral composition and relationship of sodium to cationic macronutrients in the table beets cv. Early Wonder Tall Top. The experimental was conducted in a greenhouse of the Soil Science Department of the Universidade Federal de Lavras, MG. The plants were put into plastic pots with capacity 3 L, that is, a plant per pot, and the treatments applied which consisted of five proportional replacements of K for Na, respectively, 100 - 0%, 75 - 25%, 50 - 50%, 25 - 75% and 0 - 100% and two additions of sodium in the amount of 25% and 50% of the potassium level recommended for Hoagland solution. It was found that both the replacement and addition of Na to K decreased the leaf area, dry mass of the root, total dry mass, fresh mass of the leaves and fresh mass of table beets root. In addition, also the concentrations of N, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn and Na of the shoot and N, P, K, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn, Zn and Na of the root and the ratios Na:K, Na:Ca and Na:Mg in the beet plants were significant. It was concluded that the replacement of sodium by potassium and the addition of sodium to the satisfactory amounts of potassium contribute to improve both the yield and mineral composition of table beet, using for its own benefit the saline condition of the cultivation place.

---

\*Guidance Committee: Marco Antônio Rezende Alvarenga - UFLA (Major professor) and Janice Guedes de Carvalho - UFLA.

## 1. INTRODUÇÃO

A produção de olerícolas apresenta elevada importância no Brasil, em virtude da alta produtividade e rentabilidade positiva do capital investido, bem como a geração de empregos no setor. Dentro desse contexto, a produção de raízes de beterraba para consumo “*in natura*” e para indústrias de conserva e alimentos infantis vem aumentando nos últimos dez anos.

Em 2006, a cultura ocupou uma área de 18 mil hectares plantados, apresentando uma produção estimada em 280 mil toneladas, com ênfase para os Estados de São Paulo, Minas Gerais e Região Sul que respondem por 77% da produção total (Associação Brasileira de Horticultura, 2007). No estado de Minas Gerais, os municípios de São Gotardo, Carandaí, Uberaba e Uberlândia são os principais produtores desta olerícola. No Nordeste, seu cultivo é reduzido devido a elevadas temperaturas que interferem sobre os aspectos produtivos e qualitativos da planta.

A raiz da beterraba é multifuncional, uma vez que: combate à anemia, por ser rica em ferro, contribui na redução da pressão arterial, combate cânceres, doenças cardiovasculares, degeneração macular (Uenojo, 2007). Os carotenóides presentes na raiz tuberosa auxiliam na produção da melanina responsável pela cor da pele (Pastore, 2008).

A exemplo de outras olerícolas, a nutrição mineral é um dos fatores que contribuem para elevar a produtividade e a qualidade do produto comercial sendo este, principalmente, a raiz da beterraba. Entre os nutrientes, o potássio é o segundo elemento mais exigido pela beterraba cultivar Early Wonder (Grangeiro et al., 2007).

Nas culturas quenopodiáceas como a beterraba açucareira, beterraba forrageira, beterraba hortícola e espinafre também há resposta à nutrição com sódio.

O sódio é um elemento benéfico muito encontrado em solos salinos, mais extensivamente em regiões de clima árido e semi-árido em condições naturais, e também em solos cuja irrigação – prática imprescindível à olericultura – é utilizada inadequadamente, podendo causar excesso de sais, conseqüentemente salinização de solos e diminuição dos rendimentos da cultura.

Entretanto este fenômeno favorece o cultivo de beterraba quando plantada em solos salinos ricos em sódio, uma vez que a planta aproveita o sódio em substituição ao potássio (Malavolta, 2006), corroborando com estudos de diversos autores que consideram o sódio como responsável pelo aumento da produção de beterraba açucareira e hortícola em vários países. Destarte, são necessárias pesquisas que estudem até que ponto o sódio proporciona incremento à cultura da beterraba, substituindo o potássio em sua(s) função(ões) na planta.

Assim, o presente trabalho objetivou verificar a resposta da nutrição com sódio em substituição e em adição à nutrição potássica sobre o crescimento, produção, composição mineral e a relação do sódio com os macronutrientes catiônicos na beterraba hortícola cv. Early Wonder Tall Top.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Aspectos culturais da beterraba hortícola

Entre as demais olerícolas, a beterraba destaca-se por sua composição nutricional, sobretudo em açúcares, e pela forma de consumo da raiz, além das folhas. Classificando-se em beterraba açucareira, beterraba forrageira e beterraba de mesa ou hortícola, forma predominantemente cultivada no Brasil.

A espécie *Beta vulgaris* L. var. *crassa* (Alef.) J. Helm (Ex *Beta vulgaris* L. var. *conditiva*) (Puiatti & Finger, 2005) originou-se em regiões europeias e norte-africanas de clima temperado (Filgueira, 2000). Além de beterraba hortícola, pode ser conhecida como beterraba de mesa, beterraba vermelha, ou ainda beterraba olerácea. Sua introdução e cultivo no País são se devem aos imigrantes europeus e asiáticos, embora em pequena escala quando comparada com outras olerícolas mais tradicionais como tomate, batata, cebola e alho (Souza et al., 2003).

A planta é uma dicotiledônea pertencente à família Amaranthaceae, uma classificação recente para a outrora família Chenopodiaceae (Carvalho & Berg, 2007), a qual compreende uma hortaliça tuberosa, a beterraba, e duas hortaliças folhosas, a acelga e o espinafre verdadeiro. A beterraba é a cultura que ocupa a maior área cultivada (Filgueira, 2000).

Apesar de ser considerada raiz tuberosa, anatomicamente o órgão armazenador de reservas da beterraba não é propriamente a raiz, mas consiste no intumescimento do eixo hipocótilo-raiz, região do caule logo abaixo dos cotilédones, formado próximo à superfície do solo e da porção superior limitada da raiz pivotante (Puiatti & Finger, 2005); possui formato globular e coloração purpúrea. Tal coloração se deve ao pigmento antocianina que ocorre também nas nervuras e pecíolo das folhas (Filgueira, 2000).

As sementes são denominadas glomérulos, no qual possuem diminutos frutos corticosos. Cada fruto tem um óvulo que origina uma semente botânica enquanto cada glomérulo possui entre 2 e 4 frutos, que geram mais de uma planta por glomérulo. Entretanto, há sementes comercializadas cujos glomérulos contêm uma única semente denominada monogérmica (Filgueira, 2000).

Na etapa vegetativa, há o desenvolvimento de folhas alongadas, que crescem aos pares, do centro do diminuto caule. O sistema radicular é do tipo pivotante, com o alcance de 60 cm a raiz principal e poucas ramificações laterais (Souza et al., 2003). O ciclo vegetativo da planta varia de 60 a 100 dias, dependendo da cultivar, método e época de plantio, enquanto que dois anos são necessários para a planta abranger o ciclo reprodutivo.

A beterraba hortícola desenvolve-se melhor em temperaturas amenas ou frias, sendo o calor, fator limitante, reduzindo seu potencial qualitativo (Filgueira, 2000). Em relação ao solo, a cultura é bastante exigente. Solos argilosos de textura média, friáveis, ricos em matéria orgânica e bem drenados; pH entre 6,0 e 6,8 e saturação por base elevada a 70% garantem melhor produção (Souza et al., 2003). É uma das hortaliças mais tolerantes à salinidade (Truog et al., 1953); A beterraba açucareira é classificada como tolerante e a beterraba hortícola, moderadamente tolerante, com  $4,0 \text{ dS.m}^{-1}$  (Gheyi et al., 1999).

Atualmente a beterraba de mesa é explorada visando o consumo da porção carnuda da raiz e, em menor escala, das folhas (Puiatti & Finger, 2005). No Brasil, as raízes são consumidas cozidas e fatiadas ou raladas cruas.

### **2.1.1 Propriedades nutracêuticas da beterraba hortícola**

A raiz da beterraba possui um sabor adocicado, um atrativo ao seu consumo e nutricionalmente, é rica em vitaminas e minerais. Sartorelli (1998)

verificou que a parte aérea da beterraba é uma boa fonte de proteínas,  $\beta$ -caroteno, vitamina C, fósforo, potássio, magnésio e manganês. Os carotenóides estão entre os constituintes mais apreciados dos alimentos; Contribuem para aumentar a qualidade e a atração destes. São responsáveis por conferir as cores de vegetais, como o tomate, morango, cenoura e beterraba e ainda pelas cores de alguns pássaros, insetos e animais marinhos (Uenojo et al., 2007). Os mesmos autores ainda completam que os carotenóides desempenham alguns papéis fundamentais na saúde, sendo essenciais à visão, pois são precursores da vitamina A. E ainda são responsáveis pela produção de melanina na pele humana (Pastore, 2008); juntos, melanina e carotenóides formam a cor da pele, pois a combinação do  $\beta$ -caroteno com a exposição ao sol estimula a produção de melanina (Bonventini Júnior & Costa, 2003).

Os carotenóides também possuem efeitos benéficos contra cânceres, doenças cardiovasculares e degenerações maculares (Delgado-Vargas et al., 2000). Além da prevenção do câncer, o potencial antioxidante dos carotenóides pode ser útil na inibição de outras doenças provocadas pela ação dos radicais livres (Uenojo et al., 2007).

Os elementos minerais desempenham diversas funções essenciais e são obtidos através dos alimentos. Krause & Mahan (1991) citam que os vegetais verdes e escuros, como a beterraba, são ricos em ferro. O ferro é um mineral que participa da formação dos glóbulos vermelhos que, juntamente com a vitamina C, são importantes no combate à anemia (Lanzkowsky, 1982).

O sabor agradável da raiz tuberosa se deve ao teor de açúcares que, na beterraba de mesa, está em torno de 6% da massa fresca, enquanto na beterraba açucareira está ao redor de 20%, sendo predominantemente sacarose (Puiatti & Finger, 2005).

As folhas da beterraba possuem grande valor nutricional. De acordo com Sartorelli (1998) a utilização das folhas constitui-se numa fonte promissora de

nutrientes, principalmente na forma desidratada, além disso, apresenta um elevado teor de proteínas (Instituto Agronômico de Campinas, 2008).

Estudos de pesquisadores britânicos revelaram recentemente que meio litro do suco da beterraba por dia reduz a pressão arterial. O nitrato, presente também nos alimentos verde-escuros e folhosos, é a principal substância responsável, pois a pressão arterial diminui uma hora após a ingestão do suco, com efeito mais forte três a quatro horas depois (Webb et al., 2008). No entanto, a ingestão diária aceitável de nitrato, segundo a Organização Mundial da Saúde (World Heart Organization, 1978) é de 5 mg.Kg<sup>-1</sup>. Stephen & Castro (1996) salientam o cuidado para não ingerir altos índices de nitrato, pois o nitrato pode se transformar em nitrito e nitrosaminas e causar a metemoglobinemia e doenças cancerígenas.

### **2.1.2 Cultivo hidropônico de hortaliças**

Normalmente, a beterraba é cultivada pelo sistema de semeadura direta, mas também pode ser cultivada pelo plantio de mudas (Horta et al., 2001). Isto porque a beterraba é a única tuberosa que permite e adapta-se bem ao transplantio das mudas (Filgueira, 2000; Souza et al., 2003). Por isso é possível cultivar beterraba em meio hidropônico com o transplantio da muda para a solução de cultivo.

A hidroponia consiste no desenvolvimento de plantas em meio inerte ou simplesmente em água, sem o uso de solo, com a adição de uma solução que contenha todos os elementos nutritivos essenciais ao desenvolvimento da planta (Pestana & Correia, 2007). No entanto, a técnica exige um grande volume de solução nutritiva, ou ajuste freqüente da solução a fim de impedir que a absorção de nutrientes pelas raízes produza mudanças radicais nas concentrações dos nutrientes e no pH do meio (Taiz & Zeiger, 2004). Ainda assim, o cultivo de

hortaliças em solução nutritiva e ambiente protegido contribui para aumentar a produção por área (Puiatti & Finger, 2005).

Deste modo, a hidroponia é utilizada na produção comercial de muitas plantas em cultivo protegido. No sistema de cultivo hidropônico há o controle da nutrição vegetal e homogeneização dela para todas as plantas; não é necessário lidar com plantas invasoras; a sanidade é facilmente controlada; há maior eficiência no uso da água e os nutrientes aplicados coincidem com as necessidades nutritivas da planta (Pestana & Correia, 2007).

A solução nutritiva pode ter muitas formulações. A solução de Hoagland modificada é a que contém todos os elementos necessários ao crescimento das plantas (Taiz & Zeiger, 2004). Para o caso da beterraba, não se encontra relato na literatura sobre produção em cultivo hidropônico, mas se tem notícia de cultivo de batata-semente (Medeiros et al., 2002; Medeiros, 2007) e o uso da solução de Hoagland e Arnon para estudar a omissão de macronutrientes no desenvolvimento e no estado nutricional da beterraba em solução nutritiva (Alves et al., 2007).

## **2.2 Nutrição mineral de plantas com sódio**

O sódio é considerado um elemento útil, pois, no geral, a planta vive sem ele, entretanto, sua presença é capaz de contribuir para o crescimento, por meio de uma maior expansão celular (Taiz & Zeiger, 2004), para a produção ou para a resistência a condições desfavoráveis do meio (Malavolta, 1980). O sódio é considerado um elemento essencial para os animais, inclusive para o homem sendo neles o principal eletrólito, regulando a pressão osmótica dentro da célula e dos líquidos corporais, papel esse desempenhado pelo potássio na planta (Malavolta, 2006).

Para Cope et al. (1953) o sódio é essencial ao máximo desempenho produtivo de algumas plantas. Brownell (1965) estabeleceu que o sódio é um elemento mineral essencial ao desenvolvimento de plantas halófitas, como a *Atriplex vesicatoria*, que pertence à família Amaranthaceae, satisfazendo o critério indireto de essencialidade. Na ausência de sódio, o crescimento da referida espécie cessava e as plantas morriam, enquanto que plantas com deficiência severa mostravam recuperação sete dias após receberem adição de sódio na solução nutritiva.

Faquin (2005) também concorda que o sódio mostra efeitos positivos no crescimento de membros da família Amaranthaceae. Harmer & Benne (1945) verificaram que a beterraba é uma das culturas que respondem à adição de sódio no meio. Lehr (1941b), estudando fontes de nitrato em beterraba, verificou que o  $\text{NaNO}_3$  aumentou substancialmente a produção de raízes. A produção de beterraba açucareira foi beneficiada pela adição de sódio ao solo (Hamid & Talibudeen, 1976). Outras culturas, como tomate e pimentão, têm o tamanho do fruto reduzido quando submetido à salinidade (Bernstein, 1959; Shannon, 1997). Já o *flavor* de cenouras (Bernstein & Ayers, 1953) e de aspargos (François, 1987) é favorecido por um aumento considerável no teor de açúcar quando cultivados em solos salinos.

Em estudos com plantas halófitas e glicófitas foram encontradas respostas para o sódio em espécies de plantas caracterizadas fotossinteticamente em  $\text{C}_4$  e CAM (Brownell & Crossland, 1972, 1974). Marschner (1995) enfatiza que o sódio é essencial a muitas espécies de plantas  $\text{C}_4$  e não é essencial para espécies de plantas  $\text{C}_3$ .

O sódio é muito encontrado em solos que sofrem salinização e constitui um dos principais íons que contribuem negativamente para esse processo (Cruz et al., 2006). Embora a salinização ocorra pela presença de qualquer sal solúvel,

o termo salinidade se refere a soluções em que predomina o sódio (Epstein, 1975).

Um dos fatores que pode ocasionar a salinização é a irrigação (Cordeiro et al., 1999; Ferreira et al., 2006). A irrigação é uma prática imprescindível à olericultura. Sua utilização inadequada poderá causar problemas de salinização. O excesso de sais se reflete negativamente na produtividade das plantas. Ou seja, uma quantidade insuficiente de água para lavar o sal para camadas abaixo da zona de enraizamento, provocará a salinização do solo (Taiz & Zeiger, 2004); tais solos retêm seus sais e com o tempo, podem tornar-se progressivamente salinizados, a partir da água freática carregada de sais e pelo sal cíclico (Epstein, 1975).

Nem todas as plantas respondem igualmente à salinidade. Os mecanismos pelos quais as plantas toleram a salinização são complexos; envolvem síntese molecular, indução enzimática e transporte de membrana (Taiz & Zeiger, 2004). A sensibilidade a maiores ou menores teores de sais no solo é uma característica de cada tipo de planta (Cordeiro et al., 1999). Por isso elas são classificadas em tolerantes, moderadamente tolerantes ou sensíveis ao teor de sais no solo. Assim, algumas espécies não têm seu crescimento reduzido com maiores concentrações de sais em função de sua capacidade de adaptação osmótica (Malavolta et al., 1997) tal como o caso de plantas halófitas. As halófitas são plantas nativas de solos salinos (Greenway & Munns, 1980).

Em plantas não halófitas (ou glicófitas) a maior parte do sódio absorvido é retido nas raízes e na parte inferior do caule (Bernstein et al., 1956). Em nível celular, para impedir o acúmulo de sais no citosol, a maioria das plantas seqüestra os sais para o vacúolo (Stewart & Ahmad, 1983), porque o citosol e o vacúolo são os compartimentos celulares responsáveis pela seletividade iônica das células vegetais (Taiz & Zeiger, 2004).

Lehr (1953) classifica a *Beta vulgaris* L. como planta halófito. Nesse caso ela tem grande capacidade de absorver sódio que favorece o desenvolvimento da parte aérea e a produtividade. Para a beterraba, o sódio pode ser considerado quase um nutriente indispensável, equiparando-se ao potássio em importância (Lehr, 1941a).

Desse modo, essa capacidade de adaptação da cultura a solos salinos é importante por permitir seleção de culturas tolerantes, capazes de produzir economicamente, quando não se pode corrigir a salinidade do solo (Malavolta et al., 1997).

### **2.3 Potássio na nutrição mineral da beterraba**

A beterraba é considerada moderadamente ou bastante exigente em potássio (Trani et al., 1993; Souza et al., 2003), sendo o segundo nutriente mais acumulado pela cultivar Early Wonder, com acúmulo de 179,3 kg.ha<sup>-1</sup> (Grangeiro et al., 2007). Já Schmehl & James (1971) classificam a beterraba açucareira como uma planta altamente exigente em potássio, absorvendo-o mais do que qualquer outro nutriente.

O potássio é um nutriente móvel presente nas plantas como cátion K<sup>+</sup>; regula o potencial osmótico das células vegetais e ativa enzimas no processo de respiração e fotossíntese (Taiz & Zeiger, 2004), além de atuar na abertura e fechamento dos estômatos; na transpiração; no transporte de carboidratos; resistência à geada, seca, salinidade, doenças e acamamento; na qualidade de frutos e regulação da turgidez dos tecidos (Malavolta, 1980).

Tiedjens & Schermerhorn (1937) observaram, em ensaio conduzido em solução nutritiva, que a deficiência de potássio afeta mais as raízes da beterraba, que tendem a ser longas e finas, e não acompanha o crescimento das folhas. No geral, os sintomas de deficiência de potássio podem ser vistos em folhas mais

velhas, começando por clorose seguida de necrose nas pontas e margens (Malavolta, 1980).

O efeito do potássio pode ser encontrado em diversas hortaliças. Vários autores mostraram a eficiência do potássio em tomateiro, atribuindo a eles aumento da produção e melhoria da qualidade dos frutos, em especial à síntese de carotenóides (Carvalho et al., 2004). Analogamente à beterraba, o potássio pode contribuir para aumentar o teor de sólidos solúveis e uniformizar a coloração das raízes. Em beterraba açucareira, doses de 50 a 500 mg de  $K_2O.kg$  de solo<sup>-1</sup> proporcionaram efeitos positivos sobre o crescimento, produção e conteúdo de açúcar, independente da fonte,  $K_2SO_4$  ou KCl (Yu-ying & Hong, 1997).

Devido à sua função osmótica, o potássio pode ser parcialmente substituído pelo sódio como um soluto osmoticamente ativo (Glass & Siddiqi, 1984; Taiz & Zeiger, 2004). Entretanto, são poucos os trabalhos relativos aos efeitos desse nutriente na produção e qualidade de beterraba.

#### **2.4 Sódio em substituição a nutrição com potássio**

Segundo Malavolta (2006), o potássio apresenta um duplo padrão de absorção, em que o primeiro mecanismo opera em baixas concentrações, mostra alta afinidade e depende de energia metabólica, independente de sódio. Já o segundo padrão de absorção funciona sob altas concentrações, parece ser comum ao sódio, talvez inibindo a absorção de potássio, é passivo e se realiza através de canais protéicos. Rains (1972) acredita que a absorção de sódio ocorra por meio do segundo padrão de absorção.

Alguns pesquisadores sugerem que o sódio pode substituir as funções do potássio quando este estiver em quantidades insatisfatórias à planta na solução

do solo. Já outros supõem que o sódio contribui positivamente à produção de plantas halófitas, como a *Beta vulgaris* L.

Quanto à resposta da planta à nutrição com sódio em substituição ao potássio, Lehr (1953) classifica as plantas em quatro grupos: o grupo A compreende as plantas que crescem adicionalmente em resposta ao sódio mesmo em quantidades adequadas de potássio, elas são natrófilicas e tolerantes ao sal, abrangem a família Amaranthaceae; no grupo B, o crescimento adicional em resposta ao sódio é menor e compreende culturas como o repolho, coqueiro, algodoeiro, batata e aveia; no grupo C, o sódio substitui uma pequena parte do potássio, mas não proporciona efeito sobre o crescimento, como acontece com a cevada, trigo e linho; e no grupo D, o sódio não substitui o potássio, estas plantas são natrófóbicas e sensíveis ao sal, como acontece com o milho, a soja e o feijão comum.

De outro ponto, Larson & Pierre (1953) mostraram que alguns pesquisadores classificam as culturas quanto à absorção de sódio da seguinte maneira: a) culturas que respondem ao sódio na presença adequada de potássio e aparentemente necessitam de sódio como um nutriente; b) culturas que respondem ao sódio apenas quando o potássio está deficiente, indicando que o sódio substitui parcialmente as funções do potássio; c) culturas que respondem levemente ou absolutamente nada a sódio sob quaisquer condições.

Harmer & Benne (1945), resumindo o efeito do sódio sobre a absorção de outros cátions, relataram que o potássio total removido por uma cultura geralmente aumenta consideravelmente com a presença de sódio.

Larson & Pierre (1953) pesquisaram a absorção de sódio sobre a produção e conteúdo de cátions em quatro culturas e verificaram a seguinte ordem de resposta: beterraba > linho > aveia > milho, em que o sódio foi tão efetivo quanto o potássio sobre o crescimento da beterraba; beterrabas respondem ao sódio na presença de grandes quantidades de potássio.

Lehr (1953) afirma que o sódio sempre será necessário para o desenvolvimento satisfatório da parte aérea, mesmo se o potássio estiver presente em quantidades suficientes. Ginneken (1939), citado por Lehr (1941a), também verificou que uma certa quantidade de sódio sempre é desejável ao desenvolvimento da parte aérea da beterraba; Farley & Draycott (1974) observaram que o sódio e o potássio aumentaram a área foliar, o rendimento de açúcar e melhoraram a relação raiz:parte aérea.

De um modo geral, o potássio contribui majoritariamente ao potencial osmótico celular, mas não há uma exigência absoluta desse elemento, haja vista que o compartimento vacuolar contém diversos outros solutos, como sais de sódio, fazendo com que o sódio preencha parcialmente a função “biofísica” do potássio (Malavolta, 2006).

Mas ainda assim, este efeito não está bem explicado em algumas plantas que respondem à adição de sódio (Holt & Volk, 1945; Marschner, 1995), principalmente em beterraba hortícola e cultivada em solos salinos, em que a planta poderia absorver o sódio em substituição ao potássio. Ademais, no Brasil não foram encontrados, na literatura, relatos sobre a substituição de potássio por sódio em beterrabas.

## **2.5 Sódio e potássio sobre a disponibilidade de nutrientes**

Os solos em que a PST (Percentual de Saturação Total) é maior que 15%, a condutividade elétrica é maior que  $4 \text{ mmhos.cm}^{-1}$  e o pH é menor que 8,5 são considerados sódicos (Malavolta, 2006). O termo sódico decorre do excesso de íon  $\text{Na}^+$  nestes solos.

O sódio é um elemento importante no equilíbrio de íons (Lehr, 1941c). O excesso de íons  $\text{Na}^+$  ocasiona distúrbios osmóticos em algumas plantas, causando estresse. Em geral, o excesso de íons nos solos interfere no

desenvolvimento de plantas devido a uma redução em sua habilidade de absorver a água por meio das raízes. Conseqüentemente, há seca fisiológica, diminuição do potencial osmótico, desbalanço hormonal, fechamento estomático (Prisco, 1980) e alteração dos processos de absorção, transporte, assimilação e distribuição de nutrientes na planta (Sousa et al., 2007).

O sódio é um dos principais íons que contribuem negativamente para a salinidade dos solos (Cruz et al., 2006). Concentrações elevadas de sódio ( $\text{Na}^+$ ) no solo são tóxicas à maioria das plantas (Horie & Schroeder, 2004), desencadeiam problemas na estruturação do solo, toxidez em plantas sensíveis aos íons e problemas químicos e físicos no solo devido à predominância de Na, trocável no complexo sortivo (Sá, 2005).

O teor de nitrogênio em função da salinidade parece depender da duração a que a planta é submetida ao estresse salino e, de maior importância, dos diferentes graus de tolerância entre as espécies ou genótipos (Perez-Alfocea et al., 1993).

A aplicação de sódio induz à diminuição na concentração de potássio nas plantas e causa desequilíbrio entre os cátions. Uma razão Na:K anormalmente alta e concentrações altas de sais totais inativam as enzimas e inibem a síntese protéica (Taiz & Zeiger, 2004). Tanto  $\text{Ca}^{2+}$  quanto  $\text{K}^+$  afetam as concentrações intracelulares de  $\text{Na}^+$  (Zhong & Läuchli, 1994). Cátions minerais, como o potássio, adsorvem-se às cargas negativas melhorando a fertilidade do solo, pois proporcionam uma reserva de nutrientes disponível às raízes das plantas (Taiz & Zeiger, 2004). K e Na exercem forte influência sobre atividade de cálcio (Lehr, 1941c). O cálcio, por outro lado, aumenta a seletividade Na:K, conseqüentemente aumenta a tolerância da planta ao sal (Liu & Zhu, 1997). Uma concentração de  $\text{Ca}^{2+}$  reduzida aumenta o transporte de  $\text{Na}^+$ , abem como aumenta a relação Na:Ca, do que pode resultar aumento na permeabilidade da membrana (Geenway & Munns, 1980).

Epstein & Hagen (1952) observaram que o potássio foi absorvido especificamente de uma solução do solo que continha K, Na e Ca; na ausência de cálcio, K e Na foram absorvidos de maneira não seletiva. Em baixas concentrações de K ( $< 1,0$  mM), o Ca aumentou a absorção de K, enquanto que em concentrações de K maiores que  $1,0$  mM, o cálcio diminuiu a absorção de Na e K (Rains, 1972). O mesmo autor verificou que a atividade enzimática do sódio e potássio adicionados individualmente na solução nutritiva foi reduzida, enquanto que a combinação deles aumentou a atividade, o que similarmente ocorre em animais.

Lindsay (1979) observou que em solos sódicos ocorre redução da disponibilidade de ferro, para cada aumento de uma unidade de pH, alcançando valor mínimo ao redor de pH 9. O mesmo autor também observou que o boro e o molibdênio são mais solúveis em solos sódicos que em solos com pH neutro.

Diante do exposto, visualiza-se a necessidade de estudos mais detalhados sobre o comportamento da beterraba mediante aplicação de sódio em substituição ao potássio, e de sódio em adição a quantidades satisfatórias de potássio, visando o aproveitamento do sódio em solos salinos, bem como reduzindo custos com fertilizantes potássicos.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Caracterização e condução do experimento

O trabalho foi conduzido em casa-de-vegetação nas dependências do Departamento de Ciência dos Solos da Universidade Federal de Lavras, no período de outubro de 2007 a janeiro de 2008, utilizando-se solução nutritiva. O semeio da beterraba (*Beta vulgaris* var. *crassa*) foi realizado em bandejas de poliestireno expandido de 288 células conforme indicação de Guimarães et al. (2002) com substrato comercial Plantmax HT<sup>®</sup> (CE = 1,8 dS.m<sup>-1</sup>, pH = 5,6 e 38% de retenção de água), utilizando-se um glomérulo de beterraba por célula a 5 mm de profundidade. Os glomérulos foram deixados previamente dentro de água por 12 horas para uniformizar a germinação segundo recomendações de Souza et al. (2003) e posteriormente lavados em água corrente para eliminar substâncias inibidoras da germinação (Filgueira, 2000) antes do semeio.

A bandeja foi irrigada três vezes ao dia com água destilada e solução de sulfato de cálcio a 10<sup>-4</sup>M durante a fase de emergência das plântulas. Aos 20 dias após semeadura (DAS), as plântulas foram transferidas para recipientes plásticos de 40 L contendo solução nutritiva de Hoagland (Hoagland & Arnon, 1950) com 20% de sua força iônica para adaptação. Aos 42 DAS as plantas foram colocadas em vaso plástico com capacidade de 3 L, com uma planta por vaso, e a partir daí aplicados os tratamentos, com 40% da força iônica da solução de Hoagland, aumentando-se a força iônica gradativamente até 100% e renovando a solução quinzenalmente até a colheita aos 100 DAS. As soluções de cultivo foram mantidas em aeração constante, com o uso de borbulhador acoplado a uma mangueira do compressor de ar.

Os tratos fitossanitários foram realizados de acordo com a necessidade da planta: Abamectin para combate ao ácaro e mosca minadora e Difenconazole para controlar *Alternaria sp.*

### **3.2 Material vegetal experimental**

Foi utilizada a cultivar de beterraba Early Wonder Tall Top, que tem apresentado excelente adaptação às diversas regiões de cultivo. As plantas possuem folhagem vigorosa, com alto rendimento para formar um feixe de folhas atadas. As raízes são uniformes, de formato globular, coloração vermelha intensa e pequena inserção foliar (Filgueira, 2000).

### **3.3 Delineamento experimental e análise estatística**

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente ao acaso com 7 tratamentos e 3 repetições. Os tratamentos constituíram-se em 5 substituições proporcionais de potássio por sódio: 100 - 0% (T1), 75 - 25% (T2), 50 - 50% (T3), 25 - 75% (T4) e 0 - 100% (T5); e 2 adições de sódio à quantidade adequada de potássio, 25% (T6) e 50% (T7), com base na recomendação de potássio da solução de Hoagland.

As fontes utilizadas nos tratamentos foram nitrato de potássio e nitrato de sódio. Todas as variáveis foram submetidas à análise de variância conforme Gomes (2000). Foram feitas correlações para as variáveis de crescimento, produção e absorção de sódio e potássio. Aos tratamentos significativos foi aplicado teste Scott-Knott para comparação das médias. Para o procedimento das análises estatísticas foi utilizado o software SISVAR 4.0 (Ferreira, 2003).

### **3.4 Avaliação experimental**

Aos 100 DAS foram medidos a área foliar, comprimento e diâmetro da raiz. Posteriormente, a parte aérea (limbo foliar e pecíolo) foi separada da raiz. As raízes e folhas foram pesadas para se medir a massa fresca.

Parte aérea e raízes foram lavadas com água destilada, ensacadas e levadas à estufa com aeração forçada e temperatura controlada a 65°C até a massa constante, para a obtenção da massa seca, e para as análises químicas de composição mineral das plantas.

#### **3.4.1 Avaliação do crescimento e da produção da beterraba hortícola**

A área foliar (AF) foi obtida pelo método geométrico dos quadrados, em que cada quadrado constou de uma área de 0,9 cm<sup>2</sup>. O comprimento da raiz (CR) foi medido com régua milimetrada desde a ponta da raiz até a inserção das folhas. O diâmetro de raiz (DR) foi obtido pela medição do diâmetro transversal da raiz com régua milimetrada.

A determinação da massa seca da parte aérea (MSP) e da raiz (MSR) foi realizada com secagem da amostra em estufa com aeração forçada e temperatura controlada a 65°C, até a massa constante. Posteriormente foram somadas para obter a massa seca total (MST).

A massa fresca de folhas (MFL) e raízes (MFR) foram obtidas pela pesagem de folhas e raízes de cada tratamento, em gramas.

#### **3.4.2 Avaliação da composição mineral da beterraba hortícola**

Foram avaliados os teores de: macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S), micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn) e o teor de sódio. O teor de N foi

determinado pelo método semimicro Kjeldahl (Malavolta et al., 1997), e a titulação e a destilação efetuadas segundo Bremner & Edwards (1965). O teor de P foi obtido no extrato por digestão nítrico-perclórica. Os teores de Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn foram determinados por colorimetria; K e Na por fotometria em chama; S por turbidimetria do sulfato de bário (Malavolta et al., 1997). O teor de B foi determinado por colorimetria (método da curcumina), após a digestão seca (incineração).

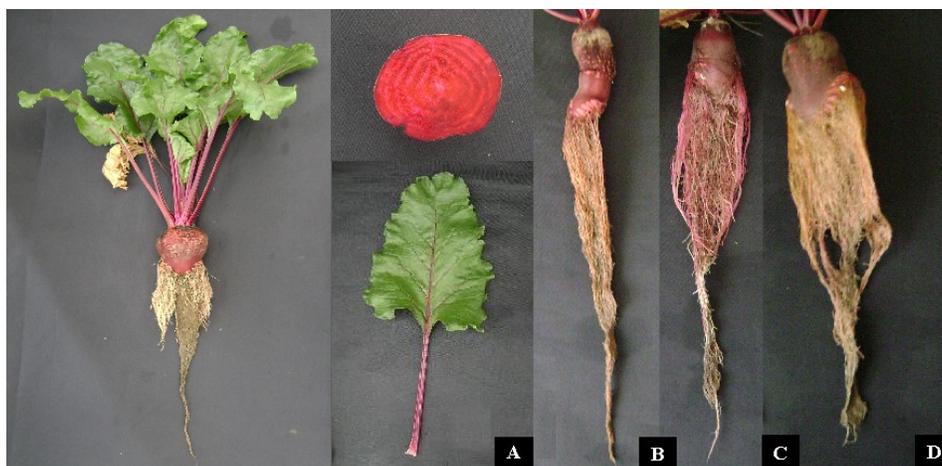
A partir do teor de nutrientes e com base na massa seca foram determinadas a concentração dos nutrientes nas raízes e parte aérea e as relações Na:K, Na:Ca e Na:Mg.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

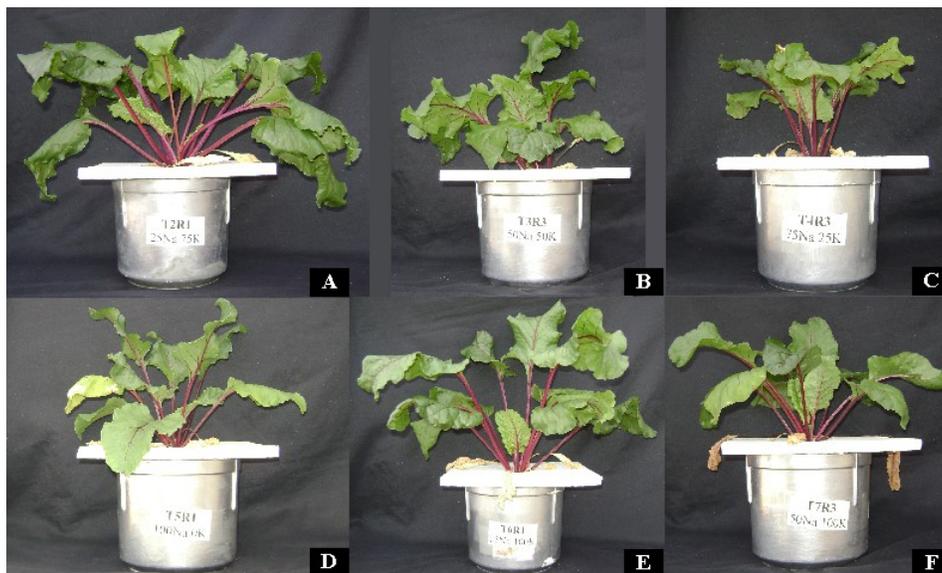
### 4.1. Crescimento e produção da beterraba hortícola

Anatomicamente pode ser verificada maior formação de raízes laterais em todos os tratamentos, divergindo da raiz pivotante geralmente formada na beterraba cultivada em campo (Figura 1a). A coloração interna e formato dos anéis na raiz não foram prejudicados pelas concentrações de sódio na solução nutritiva (Figura 1a). Deficiência de potássio no formato da raiz pode ser observada para os tratamentos 4 e 5 que possuíam maiores concentrações de sódio na solução nutritiva, ou maior concentração de íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$ , no caso do tratamento 7; as raízes tornaram-se alongadas e deformadas (Figura 1b-d). Tullin (1954) afirma que o sódio promove o crescimento da beterraba açucareira, mas pode causar danos na raiz principal.

A beterraba de mesa e a beterraba açucareira mostram sintomas de deficiência na ausência de sódio, tais como cor verde opaco, murchamento rápido e tendência para as folhas crescerem horizontalmente (Brownell & Crossland, 1972). No entanto, através de avaliação visual das características externas da planta não foram observados sintomas de deficiência ou toxidez de sódio pela planta, isto porque a beterraba hortícola possui ancestrais halofíticos, que lhe conferem tolerância à salinidade (Rains, 1972). Também não foram verificados sintomas de deficiência de potássio na parte aérea da beterraba hortícola cultivada em solução nutritiva sob os tratamentos com sódio (Figura 2), provavelmente devido à substituição do sódio pelo elemento em questão. Em muitas culturas, o sódio tem a capacidade de prevenir, adiar por muito tempo ou reduzir consideravelmente a ocorrência de deficiência de potássio (Lehr, 1953).



**Figura 1.** Morfologia da beterraba hortícola cv. Early Wonder Tall Top cultivada em solução nutritiva sem a adição de sódio (A). Deformação de raízes por deficiência de potássio: (B) T4 – 75% Na + 25% K e (C) T5 – 100%Na + 0% K. Deformação de raiz por adição de sódio: (D) T7 – 50% Na + 100% K. Lavras, DCS-UFLA, 2007.



**Figura 2.** Parte aérea da beterraba hortícola cv. Early Wonder Tall Top cultivada em solução nutritiva sob nutrição de sódio em substituição e adição ao potássio: (A) T2 – 25% Na + 75% K; (B) T3 – 50% Na + 50% K; (C) T4 – 75% Na + 25% K; (D) T5 – 100%Na + 0% K; (E) T6 – 25%Na + 100%K e (F) T7 – 50% Na + 100% K. Lavras, DCS-UFLA, 2007.

Levando-se em consideração os aspectos morfológicos influenciados pelo efeito dos tratamentos, verificou-se visualmente que T6 (50% Na + 100% K) proporcionou melhor desenvolvimento da parte aérea (Figura 2e) e raiz da beterraba hortícola em relação a T1 - 0% NaNO<sub>3</sub> + 100% KNO<sub>3</sub> (Figura 1a).

No entanto, AF, MSR, MST, MFL e MFR mostraram que houve diferença para os tratamentos em questão ( $P < 0,01$ ), conforme apresentado na Tabela 1.

**Tabela 1.** Quadrados médios da área foliar (AF), comprimento da raiz (CP), diâmetro da raiz (DR), massa seca da parte aérea (MSP), massa seca da raiz (MSR), massa seca total (MST), massa fresca de folhas (MFL) e massa fresca de raízes (MFR) da beterraba hortícola cv. Early Wonder Tall Top. Lavras, DCS-UFLA, 2008.

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios			
		AF	CR	DR	MSP
Tratamentos	6	741,84 <sup>**</sup>	10,44 <sup>ns</sup>	1,87 <sup>ns</sup>	2,44 <sup>ns</sup>
Erro	14	25,84	8,30	0,98	1,24
CV (%)		4,95	9,11	20,76	22,83
Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios			
		MSR	MST	MFL	MFR
Tratamentos	6	27,64 <sup>**</sup>	45,27 <sup>**</sup>	308,16 <sup>**</sup>	991,49 <sup>**</sup>
Erro	14	1,54	7,99	20,43	128,942
CV (%)		12,27	18,30	12,87	14,05

<sup>ns</sup> não significativo a 5% e <sup>\*\*</sup> significativo a 1% pelo teste F.

O efeito da substituição do potássio pelo sódio afetou significativamente a área foliar (AF), a massa seca da raiz (MSR), a massa seca total (MST), a massa fresca de folhas (MFL) e a massa fresca de raízes (MFR). A substituição de 25% à quantidade de potássio na solução por sódio (T2) proporcionou maior área foliar segundo o teste Scott-Knott (Tabela 2) ao nível de 5% de

probabilidade. Farley & Draycott (1974) verificaram que doses equivalentes de sódio e potássio aumentaram a área foliar em beterraba açucareira. A AF é considerada importante no cultivo da beterraba por auxiliar no estabelecimento da planta e aumentar a produção. Abreu et al. (2005) verificaram que a área foliar de cultivares de beterraba Scarlet Supreme, Early Wonder 2000 e Maravilha decresceu com o aumento de NaCl na solução.

**Tabela 2.** Médias da área foliar (AF), comprimento da raiz (CP), diâmetro da raiz (DR), massa seca da parte aérea (MSP), massa seca da raiz (MSR), massa seca total (MST), massa fresca de folhas (MFL) e massa fresca de raízes (MFR), da beterraba cv. Early Wonder Tall Top. Lavras, DCS-UFLA, 2008.

Tratamentos	AF (cm <sup>2</sup> )	CR (cm)	DR (cm)	MSP (g)
T1	95,63 c <sup>1</sup>	34,10 <sup>ns</sup>	4,93 <sup>ns</sup>	5,84 <sup>ns</sup>
T2	130,47 a	27,63	4,87	5,34
T3	100,23 c	30,50	5,67	5,02
T4	99,75 c	30,10	3,30	3,30
T5	78,53 d	31,67	4,23	4,83
T6	103,08 c	34,27	5,37	6,33
T7	110,68 b	31,90	5,07	5,80

Tratamentos	MSR (g.planta <sup>-1</sup> )	MST (g.planta <sup>-1</sup> )	MFL (g.planta <sup>-1</sup> )	MFR (g.planta <sup>-1</sup> )
T1	10,17 b	16,36 a	36,01 b	93,58 a
T2	11,98 b	17,55 a	40,97 a	87,56 a
T3	9,28 c	14,29 b	38,95 a	85,38 a
T4	6,23 d	9,76 b	20,85 c	50,39 b
T5	6,63 d	11,45 b	26,77 c	60,62 b
T6	14,63 a	20,96 a	32,39 b	88,64 a
T7	11,96 b	17,76 a	45,87 a	99,76 a

<sup>1</sup>Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott-Knott ao nível de 5% de confiança.

A substituição de 25% à quantidade de potássio na solução por sódio (T2), bem como à adição de sódio em 25% (T6) e 50% (T7), mantendo a dose recomendada de potássio, ou apenas a solução completa, sem sódio (T1) proporcionaram maior rendimento de massa seca total, enquanto a adição de

sódio em 25% à dose recomendada de potássio (T6) aumentou a massa seca da raiz, segundo teste Scott-Knott ( $P < 0,05$ ), podendo ser utilizadas na produção da beterraba (Tabela 2). Segundo Farley & Draycott (1974) o sódio aplicado sozinho, ou em conjunto com o potássio, aumentou a produção de massa seca na parte aérea da beterraba açucareira.

El-Sheikh et al. (1967) verificaram que a maior produção de massa seca na parte aérea ocorreu no tratamento com maior fornecimento de sódio em adição ao potássio, enquanto a maior produção de massa seca da raiz ocorreu no tratamento em que houve 66% de adição de sódio ao potássio, em beterraba açucareira. Ulrich & Ohki (1956) relataram que a adição de sódio em beterrabas açucareiras deficientes em potássio aumentou significativamente o crescimento, mas não exerceu efeito sobre plantas bem nutridas. Hamid & Talibudeen (1976), estudando o efeito do sódio sobre o crescimento de beterraba açucareira, verificaram que a adição de sódio aumentou significativamente a produção de massa seca da parte aérea e da raiz das plantas. Holt & Volk (1945) também afirmaram que o sódio foi efetivo sobre o crescimento da beterraba açucareira.

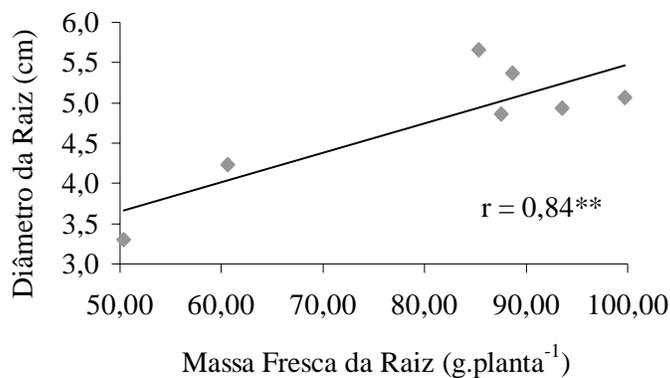
Em cultivares de tomateiro conduzidas em solução sob estresse potássico, a quantidade de 160 mg Na.parcela<sup>-1</sup> aumentou a produção de massa seca (Figdore et al., 1987). Já Besford (1978), estudando o efeito da substituição de potássio por sódio em tomate verificou que à medida que o potássio foi substituído em maior proporção pelo sódio, houve redução no crescimento da planta.

A adição de 25% (T6) e 50% (T7) de Na à quantidade adequada de potássio, bem como a substituição de 25% de K por Na (T2) promoveram maior massa fresca de folhas ( $P < 0,05$ ), conforme é apresentado na Tabela 2. Enquanto que a substituição de 50% de K por Na (T3), a adição de 25% (T6) e 50% (T7) à quantidade adequada de potássio, bem como apenas a aplicação de potássio (T1) proporcionaram maior massa fresca de raízes (MFR). Larson &

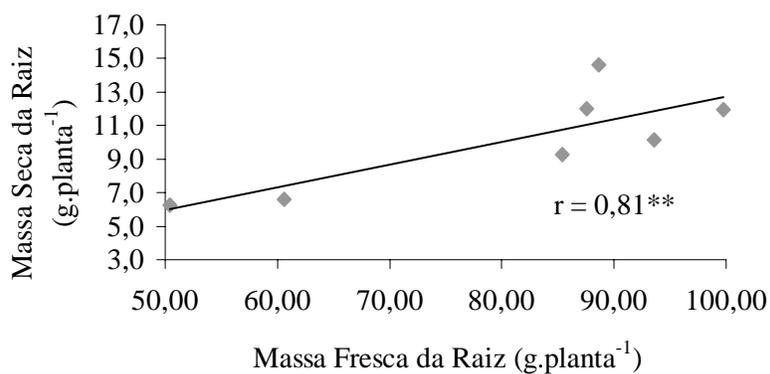
Pierre (1953) também verificaram que 50% de sódio em adição ao potássio promoveram aumento significativo da produção de folhas. O mesmo ocorreu com a produção de raízes de beterrabas de mesa. Truog et al. (1953) do mesmo modo obtiveram aumento da produção de folhas e raízes de beterrabas vermelhas com a substituição de K por Na em 50%.

Em raízes de beterraba, o sódio é importante não só na substituição do potássio, bem como um estimulante à produção: boa produção é impossível sem sódio (Lehr, 1941c). Em relação à parte aérea, o mesmo autor sugere que o sódio exerce uma função independente, porque se mostra mais influente no bom desenvolvimento da parte aérea do que da raiz, indicando que ele não substitui o potássio na parte aérea, mas sim, tem uma função específica em alguns tipos de plantas.

Relacionando o diâmetro médio das raízes em função do ganho de massa fresca (Figura 3a), e massa seca da raiz com massa fresca de raízes (Figura 3b), verificou-se que DR x MFR ( $r = 0,84$ ) e MSR x MFR ( $r = 0,81$ ) obtiveram relação linear e positiva ( $P < 0,01$ ) pelo teste T de Student, quando avaliadas as médias dos tratamentos, ou seja, 84% dos fotoassimilados investidos na raiz contribuíram para o desenvolvimento do diâmetro da raiz, medida responsável pela classificação da beterraba hortícola. Guimarães et al. (2002) obtiveram o mesmo resultado para a produtividade de beterraba hortícola em campo entre MSR x MFR, enquanto que para DR x MFR a relação foi maior, 91%. É provável que a beterraba cultivada em solução nutritiva produza diâmetro de raiz menor que a beterraba cultivada em campo.



(a)

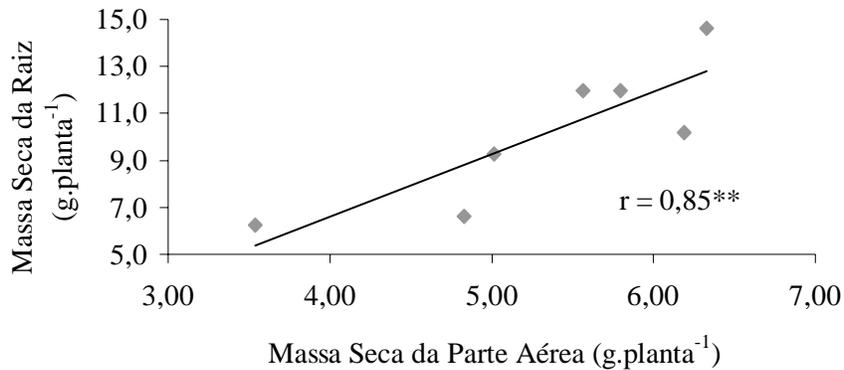


(b)

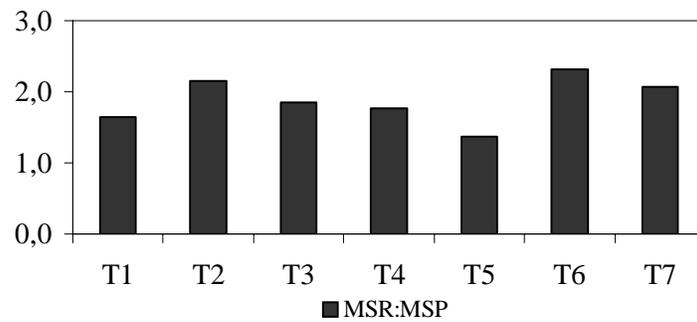
**Figura 3.** Correlação entre (a) do diâmetro da raiz e da massa fresca da raiz e (b) da massa seca da raiz e da massa fresca da raiz.

Relacionando a produção de MSP com a produção de MSR (Figura 4) verificou-se que a raiz da beterraba constituiu-se em um dreno para os fotoassimilados, durante o crescimento vegetativo da planta, em virtude da elevada correlação significativa, tendo havido uma boa translocação de nutrientes para a parte aérea da planta, ou seja, as folhas também podem ser utilizadas como fonte de nutrientes na dieta humana e animal. A maior relação MSR:MSP foi verificada em T6 (Figura 5), embora não tenham sido

significativa pelo teste F da análise de variância ( $P > 0,05$ ). Farley & Draycott (1974) observaram que a relação raiz:parte aérea em beterraba açucareira aumentou tanto para sódio quanto para potássio.



**Figura 4.** Correlação entre a massa seca da parte aérea e massa seca da raiz.



**Figura 5.** Relação entre massa seca da raiz (MSR) e parte aérea (MSP).

Para a massa fresca, na nutrição somente com potássio, foram encontrados 16,36 g.planta<sup>-1</sup> de massa seca total produzida em solução nutritiva. Grangeiro et al. (2007) produziram em campo 21,35 g.planta<sup>-1</sup> de massa seca

total, uma diferença de 30,5%, o que pode estar associado ao método aplicado neste experimento: hidroponia em vasos, levando a uma redução nas características da planta. Para tanto, seriam necessários novos estudos a fim de comparar os métodos de produção para a beterraba hortícola.

Geralmente o rendimento de uma cultura diminui quando o teor de sais na solução do solo é elevado, o que foi possível observar para AF, MSP, MSR e MST, que diminuíram com o aumento de sódio na solução de cultivo. No entanto, a beterraba hortícola suportou bem a concentração de sódio na solução, pois não apresentou sintomas de toxidez, demonstrando que a beterraba é tolerante a níveis elevados de sódio, o que se deve à melhor capacidade de adaptação osmótica da beterraba (Gheyi et al., 1999) e também que a planta responde bem não só à adição de sódio (Truog et al., 1953) como à substituição de potássio por sódio (Holt & Volk, 1945; Lehr, 1953; Yoshida & Castaneda, 1969; Besford, 1978; Marschner et al., 1981).

#### **4.2 Composição mineral da beterraba hortícola**

A composição mineral de nutrientes nos tecidos de uma planta difere conforme as espécies vegetais. Teores de sódio têm sido encontrados em plantas forrageiras, gramíneas e algumas olerícolas, entre elas, as hortaliças que compreendem a família Amaranthaceae.

A nutrição das plantas de beterraba cv. Early Wonder Tall Top com sódio e potássio foi estatisticamente significativa para a concentração de N, P, K, Ca e Mg na parte aérea ( $P < 0,05$ ) e N, P, K, Mg e S ( $P < 0,01$ ) da raiz (Tabelas 3 e 4), bem como para a concentração de Cu, Fe, Mn, Zn e Na ( $P < 0,05$ ) na parte aérea e B, Cu, Fe, Mn, Zn e Na ( $P < 0,01$ ) no sistema radicular da planta (Tabelas 5 e 6). Já para a concentração de S e B na parte aérea e Ca na raiz não houve significância pelo teste F da análise de variância.

Às variáveis significativas foi aplicado o teste Scott-Knott a fim de se comparar as médias ao nível de 5% de confiança.

**Tabela 3.** Quadrados médios da concentração de macronutrientes na parte aérea da beterraba hortícola cv. Early Wonder Tall Top em solução nutritiva. Lavras, DCS-UFLA, 2008.

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios		
		N	P	K
Tratamentos	6	27,6229 *	9,7861 **	47,4775 **
Erro	14	7,5746	0,7738	3,7752
CV (%)		7,27	10,34	5,02
		Ca	Mg	S
Tratamentos	6	16,7444 **	14,4438 **	0,2129 <sup>ns</sup>
Erro	14	1,7801	0,6906	0,1389
CV (%)		10,28	7,15	6,97

<sup>ns</sup> não significativo \* significativo ao nível de 5% e \*\* 1% de probabilidade pelo teste F.

**Tabela 4.** Quadrados médios da concentração de macronutrientes na raiz da beterraba hortícola cv. Early Wonder Tall Top em solução nutritiva. Lavras, DCS-UFLA, 2008.

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios		
		N	P	K
Tratamentos	6	31,9518 **	0,0142 **	17,4271 **
Erro	14	0,0323	0,0026	1,5557
CV (%)		6,86	9,84	4,82
		Ca	Mg	S
Tratamentos	6	0,0320 <sup>ns</sup>	7,9845 **	0,7648 **
Erro	14	0,0515	0,5104	0,0303
CV (%)		8,65	6,09	12,88

<sup>ns</sup> não significativo e \*\* significativo ao nível de a 1% de probabilidade pelo teste F.

**Tabela 5.** Quadrados médios da concentração de micronutrientes e sódio na parte aérea da beterraba hortícola cv. Early Wonder Tall Top em solução nutritiva. Lavras, DCS-UFLA, 2008.

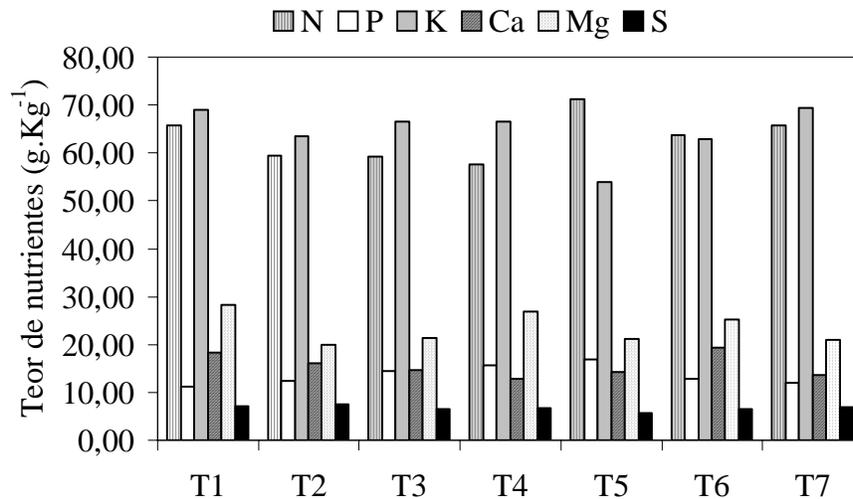
Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios		
		B	Cu	Fe
Tratamentos	6	26,8922 <sup>ns</sup>	45,6773 <sup>**</sup>	2365,0411 <sup>**</sup>
Erro	14	14,6978	0,7444	22,9643
CV (%)		7,36	12,06	4,74
		Mn	Zn	Na
Tratamentos	6	1437,7040 <sup>*</sup>	322,3905 <sup>**</sup>	27,7425 <sup>**</sup>
Erro	14	350,6050	10,0781	2,0137
CV (%)		8,92	8,04	6,98

<sup>ns</sup> não significativo <sup>\*</sup> significativo ao nível de 5% e <sup>\*\*</sup> 1% de probabilidade pelo teste F.

**Tabela 6.** Quadrados médios da concentração de micronutrientes e sódio na raiz da beterraba hortícola cv. Early Wonder Tall Top em solução nutritiva. Lavras, DCS-UFLA, 2008.

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios		
		B	Cu	Fe
Tratamentos	6	73,3068 <sup>**</sup>	8,2935 <sup>**</sup>	6007,3854 <sup>**</sup>
Erro	14	0,6439	1,0058	455,2541
CV (%)		3,23	6,38	5,43
		Mn	Zn	Na
Tratamentos	6	3639,0733 <sup>**</sup>	129,0598 <sup>**</sup>	72,5494 <sup>**</sup>
Erro	14	117,1010	9,0215	2,2189
CV (%)		6,99	7,27	14,02

<sup>ns</sup> não significativo, <sup>\*</sup> significativo a 5% e <sup>\*\*</sup> significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.



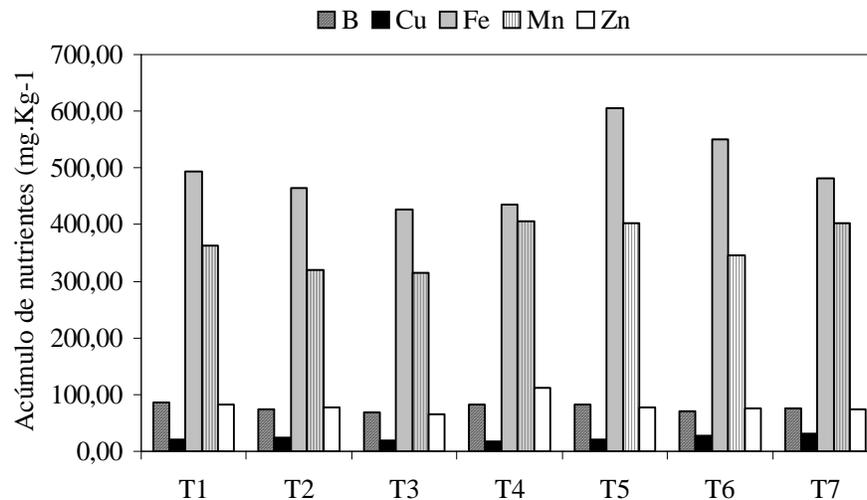
**Figura 6.** Teor de macronutrientes na beterraba hortícola cultivada em solução nutritiva mediante aplicação de sódio e potássio. Lavras, DCS-UFLA, 2008.

Sem levar em consideração o T5, tratamento sem adição de potássio, a absorção de K na beterraba foi maior que os demais macronutrientes (Figura 6), obedecendo a seguinte ordem:  $K > N > Mg > Ca > P > S$ . Adams (1961) também verificou que K foi o nutriente mais absorvido pela beterraba açucareira sob fertilização com sódio e potássio. Alves et al. (2007), estudando a omissão de K em solução nutritiva, verificaram que o K se manteve como o nutriente em maior teor na planta divergindo de Grangeiro et al. (2007) que encontraram o N como o nutriente com maior acúmulo e exportação na cultivar de beterraba, Early Wonder.

Para os micronutrientes, o mais absorvido foi o ferro (Figura 7), seguido por manganês, boro, zinco e cobre. Adams (1961), estudando a nutrição com sódio e potássio em beterraba açucareira, observou que o manganês foi

absorvido pela planta até o final do experimento, concentrando-se mais na lâmina foliar.

A concentração média de Na foi 30,96 g.Kg<sup>-1</sup> de massa seca total.



**Figura 7.** Teor de micronutrientes na beterraba hortícola cultivada em solução nutritiva mediante aplicação de sódio e potássio. Lavras, DCS-UFLA, 2008.

#### 4.2.1 Concentração de macronutrientes na beterraba hortícola

A concentração de N para os tratamentos não diferiu pelo teste Scott-Knott ( $P > 0,05$ ) na parte aérea, mas diferiu para raiz, indicando que a raiz absorveu mais nitrato, provavelmente em virtude da fonte de fornecimento, sendo T1 e T5 os tratamentos mais significativos em relação aos demais (Tabelas 7-8).

Neves et al. (2004) e Sá (2005) encontraram redução significativa do teor de N em mudas de umbuzeiro e maracujá amarelo, respectivamente, sob doses de NaCl. Entretanto, Miranda et al. (2005) observaram efeito da salinidade sobre o acúmulo de nitrogênio nas raízes de moringa, justificando que a fonte de N empregada é relevante. A salinidade aumenta a afinidade do carregador pelo amônio e reduz pelo nitrato, embora não haja evidência de competição entre estes íons (Bottela et al., 1997). Perez-Alfocea et al. (1993) afirmam que o teor de nitrogênio em função da salinidade parece depender da duração a que a planta é submetida à salinidade e de maior importância dos diferentes graus de tolerância entre as espécies ou genótipos.

Segundo o teste Scott-Knott o tratamento T5 diferiu dos demais para a concentração de P, enquanto T1 diferiu dos demais para a concentração de Mg ( $P < 0,05$ ). Ou seja, a maior concentração de fósforo foi influenciado pela substituição total de sódio por potássio, enquanto a concentração maior de magnésio foi obtida pela não adição de sódio à solução de cultivo (Tabela 7). A concentração de S não foi significativo ( $P > 0,05$ ) na parte aérea. Já na raiz, T1, T2, T4 e T7 diferiram ( $P < 0,05$ ) dos demais tratamentos (Tabela 8).

Neves et al. (2004), Miranda et al. (2005) e Sá (2005) observaram que o NaCl diminuiu significativamente a concentração de P e S em mudas de umbuzeiro, moringa e maracujá amarelo, divergindo dos resultados encontrados para o Na em substituição ao K na beterraba hortícola.

A concentração de potássio sob nutrição sódica e potássica mostrou que os tratamentos com potássio (T1, T2, T3, T4, T6 e T7) diferiram do tratamento sem potássio (T5) na parte aérea pelo teste Scott-Knott (Tabela 7). A substituição parcial do K pelo sódio foi satisfatória na parte aérea e revelou que os tratamentos T2, T3, T4, T6 e T7 não tiveram suas quantidades de K reduzidas em função de sua substituição por Na. Portanto, não apresentaram deficiências nutricionais, mostrando que o sódio supriu alguma função do potássio ausente.

Figdore et al. (1987) também observaram que o Na substituiu o K em condições de estresse potássico em cultivares de tomate. Yoshida & Castaneda (1969) obtiveram o mesmo resultado para o arroz sob substituição parcial de potássio por sódio. Yahya (1998), Neves et al. (2004) e Miranda et al. (2005) observaram que o NaCl reduziu significativamente a quantidade de potássio absorvida em gergelim, mudas de umbuzeiro e moringa, respectivamente.

Para a concentração de cálcio, a adição de 50% de Na à quantidade adequada de K em solução nutritiva (T6), juntamente com a ausência (T1) na solução promoveram maior concentração de Ca ( $P < 0,05$ ) na parte aérea (Tabela 7). Em mudas de umbuzeiro, a disponibilidade de Ca na parte aérea foi reduzida devido à precipitação do  $Cl^-$  do cloreto de sódio utilizado como tratamento (Neves et al., 2004). O mesmo ocorreu com Yahya (1998) e Miranda et al. (2005) quando aplicou NaCl em gergelim e moringa, respectivamente.

A concentração de magnésio se mostrou estatisticamente significativa pelo teste Scott-Knott ( $P < 0,05$ ). O T1 promoveu maior concentração na parte aérea em relação aos demais. Adams (1961) verificou que a concentração de magnésio variou algumas vezes na parte aérea da beterraba açucareira. Yahya (1998) e Neves et al. (2004) revelaram que a concentração de Mg diminuiu quando foi aplicado NaCl na solução, em gergelim e mudas de umbuzeiro, respectivamente. Larson & Pierre (1953) relataram que as concentrações de Ca e Mg aumentaram na ausência de sódio em beterrabas de mesa.

El-Sheikh et al. (1967), estudando a substituição de potássio por sódio em beterraba açucareira, indicaram que, no geral, as concentrações de K, Ca e Mg diminuíram com o aumento de NaCl na solução de cultivo; a concentração de K foi maior quando foi mais aplicado K na solução; o Ca foi maior na ausência de sódio e o Mg foi maior quando as quantidades de K e Na na solução foram equivalentes.

**Tabela 7.** Concentrações de N, P, K, Ca e Mg na parte aérea da beterraba hortícola cv. Early Wonder Tall Top submetidas a sódio e potássio em solução nutritiva. Lavras, DCS-UFLA, 2008.

Tratamentos	Médias (g.Kg <sup>-1</sup> )				
	N	P	K	Ca	Mg
T1	37,60 a <sup>1</sup>	5,99 d	38,60 a	15,57 a	15,08 a
T2	36,09 a	7,69 c	39,60 a	13,36 b	10,55 c
T3	38,60 a	9,51 b	42,20 a	12,14 b	9,30 d
T4	32,20 a	9,10 b	40,07 a	10,37 b	12,73 b
T5	40,47 a	11,65 a	30,60 b	11,57 b	9,37 d
T6	38,77 a	8,20 c	37,40 a	16,70 a	13,48 b
T7	41,30 a	7,42 c	42,27 a	11,17 b	10,88 c

<sup>1</sup>Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade.

**Tabela 8.** Concentrações de N, P, K, Mg e S na raiz da beterraba hortícola cv. Early Wonder Tall Top submetidas a sódio e potássio em solução nutritiva. Lavras, DCS-UFLA, 2008.

Tratamentos	Médias (g.Kg <sup>-1</sup> )				
	N	P	K	Mg	S
T1	28,15 a <sup>1</sup>	5,26 b	30,40 a	13,13 a	1,63 a
T2	23,40 b	4,78 b	24,00 c	9,39 c	1,83 a
T3	20,60 c	4,85 b	24,30 c	12,17 b	0,89 b
T4	25,40 b	6,55 a	26,40 c	14,04 a	1,57 a
T5	30,70 a	5,29 b	23,40 c	11,75 b	0,51 c
T6	24,93 b	4,64 b	25,40 c	11,66 b	1,18 b
T7	24,40 b	4,60 b	27,20 b	10,00 c	1,83 a

<sup>1</sup>Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade.

#### 4.2.2 Concentração de micronutrientes e sódio na beterraba hortícola

O B não foi significativo na parte aérea, mas na raiz a maior concentração ocorreu com a ausência de sódio na solução de cultivo (T1) ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Scott-Knott (Tabela 10). Para as concentrações de B em maracujá amarelo, Sá (2005) revelou que o NaCl reduziu significativamente seu teor nas folhas, caules e raízes. Neves et al. (2004) observaram que o NaCl afetou significativamente a concentração de B em mudas de umbuzeiro, mais do que os outros micronutrientes.

O Zn foi significativo pelo teste Scott-Knott ( $P < 0,05$ ) na parte aérea e na raiz. Para a parte aérea da beterraba, tanto a ausência de sódio na solução (T1), quanto à substituição de 25% de K por Na (T2), bem como a adição de 50% de Na à quantidade adequada de K (T7) promoveram maior concentração, ao passo que 75% de Na em substituição ao K (T4) promoveu maior concentração de Zn na raiz (Tabela 10).

O tratamento com 100% de Na em substituição ao potássio (T5) promoveu maior concentração de Fe na parte aérea (Tabela 9) e na raiz (Tabela 10), bem como a adição de 25% de Na à quantidade adequada de K (T6) promoveu maior concentração de Fe na raiz (Tabela 10).

Na parte aérea, T1 e T4 promoveram maior concentração de Mn na parte aérea (Tabela 9), enquanto na raiz, a maior concentração de Mn foi devido aos tratamentos T5 e T6. As concentrações de NaCl também diminuíram a quantidade Mn em mudas de umbuzeiro (Neves et al., 2004) e plantas de maracujá amarelo (Sá, 2005).

A concentração de Cu na parte aérea se deveu aos tratamentos com 25% (T6) e 50% (T7) de sódio adicional. Na raiz, a maior concentração de Cu ocorreu devido à substituição de 25% de K por Na (T2) e à adição de 50% de sódio à quantidade adequada de K (T7).

A maior concentração de sódio ocorreu no tratamento com 100% de Na em substituição ao K (T5), tanto na parte aérea (Tabela 9) quanto na raiz (Tabela 10) da beterraba hortícola, porém a presença de Na nos tratamentos não induziu deficiências visuais de potássio nem diminuiu a produção e crescimento da planta. A substituição de 75% de K por Na também promoveu maior concentração de sódio na parte aérea (Tabela 9).

A concentração de sódio na parte aérea também se mostrou significativa em mudas de umbuzeiro (Neves et al., 2004), em plantas de maracujá amarelo (Sá, 2005) e em plantas de moringa (Miranda et al., 2005). Yahya (1998) encontrou que a concentração de sódio na parte aérea aumentou com o aumento do NaCl na solução para plantas de gergelim. A maioria das plantas halófitas pode tolerar altas concentrações de sódio nas folhas, enquanto as plantas glicófitas translocam menos  $\text{Na}^+$  para as folhas e retêm  $\text{Na}^+$  nas raízes e abaixo do caule (Besford, 1978), fato que ocorreu na beterraba hortícola cv. Early Wonder Tall Top, em que o sódio foi mais concentrado na parte aérea do que na raiz, embora não tenha causado dano à planta.

A absorção de Na e K pela beterraba constituiu uma relação inversa,  $r = -0,80$  ao nível de 1% de confiança pelo teste T (Figura 8), ou seja, quanto mais o potássio esteve presente na solução nutritiva, menos sódio foi absorvido pela beterraba hortícola cv. Early Wonder Tall Top.

**Tabela 9.** Concentrações de Cu, Fe, Mn, Zn e Na na parte aérea da beterraba hortícola cv. Early Wonder Tall Top submetidas a sódio e potássio em solução nutritiva. Lavras, DCS-UFLA, 2008.

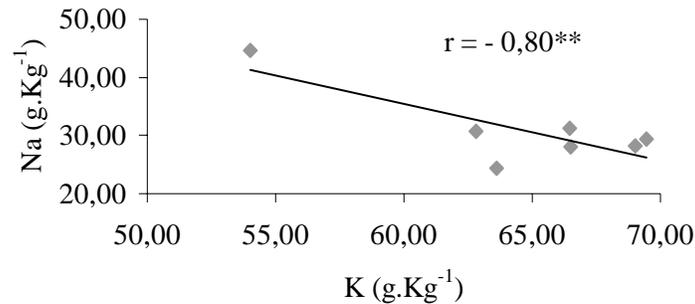
Tratamentos	Médias (g.Kg <sup>-1</sup> )				
	Cu	Fe	Mn	Zn	Na
T1	5,93 B	93,92 c	225,72 a	39,03 b <sup>1</sup>	18,65 c
T2	5,75 B	87,11 c	206,49 b	41,33 b	19,95 b
T3	4,21 C	61,70 d	183,68 b	30,45 c	20,70 b
T4	2,81 C	113,28 b	250,88 a	60,76 a	23,30 a
T5	6,20 B	150,66 a	201,01 b	31,86 c	25,20 a
T6	12,28 A	113,49 b	202,85 b	32,57 c	18,00 b
T7	12,91 A	97,97 c	199,02 b	40,38 b	16,53 b

<sup>1</sup>Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade.

**Tabela 10.** Concentrações de B, Cu, Fe, Mn, Zn e Na na raiz da beterraba hortícola cv. Early Wonder Tall Top submetidas a sódio e potássio em solução nutritiva. Lavras, DCS-UFLA, 2008.

Tratamentos	Médias (g.Kg <sup>-1</sup> )					
	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na
T1	33,90a <sup>1</sup>	15,26b	399,64b	136,76b	44,25b	9,63c
T2	23,03d	18,30a	377,69b	113,61c	36,09c	4,40d
T3	19,68f	14,15b	364,65b	131,26b	35,47c	7,40c
T4	26,54c	14,81b	321,05c	154,40b	51,75a	7,95c
T5	27,96b	14,80b	454,68a	201,71a	45,34b	19,50a
T6	21,52e	14,82b	437,17a	142,08b	42,96b	12,70b
T7	21,53e	17,85a	393,74b	203,17a	33,54c	12,80b

<sup>1</sup>Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade.



**Figura 8.** Relação entre Na e K em plantas de beterraba hortícola cultivada em solução nutritiva sob adição de sódio e potássio. Lavras, DCS-UFLA, 2008.

Hamid & Talibudeen (1976) também observaram uma relação antagônica entre sódio e potássio em beterraba açucareira durante seu crescimento. Entretanto, para Tullin (1954), não há antagonismo entre os íons, mesmo quando o acúmulo de sódio parece deslocar o potássio. De acordo com Epstein & Hagen (1952), provavelmente cada íon de potássio e de sódio tem os locais em que eles se ligam distintamente, assim seria difícil haver competição entre eles.

Farley & Draycott (1974) verificaram que a concentração de potássio na raiz foi reduzida sob influência do sódio. Larson & Pierre (1953) argumentam que o Na desestimula a absorção de K e vice-versa, sem provocar um efeito significativo. Sob altas concentrações de Na<sup>+</sup>, a absorção de K<sup>+</sup> é inibida por meio de um transportador com afinidade alta para K<sup>+</sup>-Na<sup>+</sup>, HKT1, e o transportador opera como um sistema de absorção de Na<sup>+</sup> (Taiz & Zeiger, 2004).

Para a absorção de sódio, observou-se que a beterraba concentrou sódio na raiz com o aumento do Na<sup>+</sup> na solução e na ausência de potássio. Adams

(1961) observou que raízes de beterraba açucareira absorveram mais potássio do que sódio.

Figdore et al. (1987) verificaram que cultivares de tomate com baixa capacidade de substituição de sódio sob estresse potássico na presença de adições de sódio, acumularam sódio na raiz. Sendo que o tomate é uma planta moderadamente sensível ao excesso de sais na solução.

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. No caso de plantas glicófitas, elas retêm mais sódio na raiz, enquanto as halófitas podem tolerar altas concentrações na folha sem que isso possa prejudicá-las. O íon  $\text{Cl}^-$  também é tóxico à maioria das plantas. Neste experimento empregou-se como fonte de sódio o nitrato de sódio ( $\text{NaNO}_3$ ) ao invés do  $\text{NaCl}$ , o que poderá ter contribuído para um não detrimento da planta e ter proporcionado melhor desenvolvimento vegetativo em relação às pesquisas feitas com  $\text{NaCl}$ .

O fato do Na poder substituir em parte o K levanta a possibilidade de fornecer parte da dose de  $\text{K}_2\text{O}$  na adubação por produtos contendo Na, como o cloreto de sódio ( $\text{NaCl} = 39\% \text{ Na}$ ), o salitre do Chile ( $\text{NaNO}_3 = 27\% \text{ Na}$ ) e o salitre potássico ( $\text{NaNO}_3 \cdot \text{KNO}_3 = 12\% \text{ Na}$ ). Mas o uso dessas fontes deve, no entanto, levar em conta a base experimental, as espécies responsivas e a viabilidade técnica e econômica.

### 4.3 Sódio e potássio sobre as relações Na:K, Na:Ca e Na:Mg

As relações entre Na:K, Na:Ca e Na:Mg em plantas de beterraba hortícola foram significativas (Tabela 11) pelo teste F da análise de variância (P 0,01).

A substituição de 100% de K por Na (T5) foi significativa (P < 0,05) pelo teste Scott-Knott para as médias das relações Na:K, Na:Ca e Na:Mg entre os demais tratamentos (Tabela 12).

**Tabela 11.** Quadrados médios da relação entre sódio e macronutrientes catiônicos na beterraba hortícola cv. Early Wonder Tall Top, em solução nutritiva. Lavras, DCS-UFLA, 2008.

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios		
		Na:K	Na:Ca	Na:Mg
Tratamentos	6	0,0704 **	1,0726 **	0,3873 **
Erro	14	0,0008	0,0444	0,0068
CV (%)		5,73	10,29	6,13

\*\* significativo a 1% pelo teste F da análise de variância.

**Tabela 12.** Relação entre sódio e macronutrientes catiônicos na beterraba hortícola cv. Early Wonder Tall Top, em solução nutritiva. Lavras, DCS-UFLA, 2008.

Tratamentos	Na:K	Na:Ca	Na:Mg
T1	0,41c <sup>1</sup>	1,54d	1,00d
T2	0,38c	1,52d	1,22c
T3	0,42c	1,96c	1,31b
T4	0,47b	2,43b	1,17c
T5	0,83a	3,15a	2,11a
T6	0,49b	1,59d	1,22c
T7	0,42c	2,13c	1,41b

<sup>1</sup>Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott-Knott ao nível de 5% de confiança.

Houve uma alta relação entre Na e os macronutrientes catiônicos devido à ausência de potássio para este tratamento. Para os outros tratamentos, T4 também diferiu dos demais para Na:K e Na:Ca; T6 diferiu dos demais para Na:Ca e T3 e T7 diferiram dos demais para Na:Mg.

As altas concentrações de potássio e baixas concentrações de sódio diminuíram a relação Na:K para estes tratamentos. Resumindo o efeito do Na sobre a absorção de K, Harmer & Benne (1945) relataram que o potássio total removido por uma cultura geralmente aumenta com a presença de sódio, ocorrendo o mesmo aqui: o aumento da Na na solução aumentou a relação Na:K.

A relação Na:Ca relativamente aumentou com o aumento de Na na solução. A maior relação Na:Ca ocorreu com o T5, devido à ausência de K.

O sódio pode proporcionar uma relação Ca:K mais favorável à planta, particularmente reduzindo a absorção de cálcio (Tullin, 1954), porque o excesso de cálcio prejudica a produção da beterraba, devido à relação antagônica entre Ca e K, quando o cálcio está em altas concentrações. O cálcio quando apresenta quantidades relativamente grandes, exerce um efeito prejudicial na produção da parte aérea e da raiz (Lehr, 1941c).

A relação Na:Mg relativamente aumentou com o aumento de Na. A maior relação Na:Mg ocorreu para T5, porque não houve quantidades suficientes de K; em T5 contribuiu para a absorção de Mg já que estes elementos competem entre si pelo mesmo sítio carreador. Conseqüentemente, a diminuição de K na solução relativamente promoveu a absorção de magnésio.

## 5. CONCLUSÕES

A cultura da beterraba cv. Early Wonder Tall Top produz bem tanto com a aplicação de sódio junto a quantidades satisfatórias de potássio, como quando se substitui parcialmente o potássio fornecido na solução de cultivo.

Área foliar, massa seca da raiz, massa seca total, massa fresca de folhas e massa fresca de raízes diminuíram com as quantidades de sódio em substituição e em adição ao potássio em solução nutritiva.

Os fotoassimilados foram bem distribuídos na planta e ela não apresentou fitotoxidez por sódio.

A substituição de potássio por sódio melhorou a concentração de N, P, Ca, Mg, Zn, Fe, Mn, Cu e Na da parte aérea, bem como a concentração de N, P, K, Mg, S, B, Zn, Fe, Mn, Cu e Na da raiz das plantas de beterraba hortícola, sendo que a maior concentração de macronutriente ocorreu para o K e a maior concentração de micronutriente ocorreu para o Fe, na solução de cultivo sem sódio. A máxima concentração de sódio na solução promoveu maior concentração de P na parte aérea e Fe na raiz.

A substituição de potássio por sódio influenciou as relações Na:K, Na:Ca e Na:Mg em plantas de beterraba hortícola; na relação Na:K houve maior seletividade para o potássio e em Na:Ca e Na:Mg houve maior seletividade para o sódio.

Há a possibilidade de fornecer parte da dose de  $K_2O$  na adubação por produtos contendo Na, como o salitre do Chile ( $NaNO_3$ ) ou de aproveitar a condição salina do solo para a produção de beterraba hortícola.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, C. M.; MENDES, C. R.; LIMA, M. da G. de S.; LOPES, N. F. Fotossíntese e área foliar em plantas de beterraba submetidas a estresse de NaCl. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 45., 2005, Fortaleza, CE. **Anais...** Fortaleza, 2005. CD-ROM.

ADAMS, S. N. The effect of sodium and potassium fertilizer on the mineral composition of the sugar beet. **Journal of the Agricultural Science**, v. 56, p. 383-388, 1961.

ALVES, A. U.; PRADO, R. de M.; GONDIM, A. R. de O.; CECÍLIO FILHO, A. B.; FONSECA, I. M.; FREITAS, N. Efeito da omissão de macronutrientes no desenvolvimento e estado nutricional da beterraba. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 47., 2007, Goiânia, GO. **Resumos expandidos...** Goiânia: UFG, 2007. CD-ROM.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE HORTICULTURA. **Hortaliças beterraba (*Beta vulgaris L.*)**. Disponível em: <[www.abhorticultura.com.br](http://www.abhorticultura.com.br)>. Acesso em: 20 set. 2007.

BERNSTEIN, L. Salt tolerance of vegetables crops in the West. **USDA Information Bulletin**, v. 205, p. 5, 1959.

BERNSTEIN, L.; AYERS, A. D. Salt tolerance of five varieties of carrots. **Proceedings of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 61, n. 1, p. 360-366, 1953.

BERNSTEIN, L.; BROWN, J. W.; HAYWARD, H. E. The influence of rootstock on growth and salt accumulation in stone fruit trees and almonds. **Proceedings of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 68, n. 1, p. 86-95, 1956.

BESFORD, R. T. Effect of replacing nutrient potassium by sodium on uptake and distribution of sodium in tomato plants. **Plant and Soil**, Netherlands, v. 50, n. 2, p. 399-409, 1978.

BONVENTINI JÚNIOR, W.; COSTA, A. H. R. Sistema semiautomático de detecção de pele por agrupamentos nebulosos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AUTOMAÇÃO INTELIGENTE, 6., 2003, Bauru, SP. **Anais...** São Paulo, 2003. p. 567-572.

BOTTELA, M. A.; MARTINÉZ, V.; NIEVES, M.; CERDÁ, A. Effect of salinity on growth and nitrogen uptake by wheat seedlings. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 20, n. 6, p. 793-804, 1997.

BREMNER, J. M.; EDWARDS, A. P. Determination and isotope ratio analysis of different forms of nitrogen in soils: I apparatus and procedures for distillation and determination for ammonium. **Soil of Science Society American Proceedings**, Madison, v. 29, n. 5, p. 504-507, 1965.

BROWNELL, P. F. Sodium as an essential micronutrient element for a higher plant (*Atriplex vesicatoria*). **Plant physiology**, Rockville, v. 40, n. 3, p. 460-468, 1965.

BROWNELL, P. F.; CROSSLAND, C. J. The requirement for sodium as a micronutrient by species having the  $c_4$  dicarboxylic photosynthetic pathway. **Plant physiology**, Rockville, v. 49, n. 5, p. 794-797, 1972.

BROWNELL, P. F.; CROSSLAND, C. J. Growth responses to sodium by bryophyllum tubiflorum under conditions inducing crassulacean acid metabolism. **Plant Physiology**, Rockville, v. 54, p. 416-417, 1974.

CARVALHO, D. A. de; BERG, E. van de. **Sistemática vegetal**: pteridófitas, gimnospermas, angiospermas. Lavras: UFLA, 2007. 160 p.

CARVALHO, J. G. de; BASTOS, A. R. R.; ALVARENGA, M. A. R. Nutrição mineral e adubação. In: ALVARENGA, M. A. R. (Ed.). **Tomate**: produção em campo, casa-de-vegetação e hidroponia. Lavras: UFLA, 2004. p. 61-120, 400 p.

COPE, J. T.; BRADFIELD, R.; PEECH, M. Effect of sodium fertilization on yield and cation content of some field crops. **Soil Science**, Philadelphia, v. 76, n. 1, p. 65-74, 1953.

CORDEIRO, G. G.; RESENDE, G. M.; PEREIRA, J. R.; COSTA, N. D. Utilização de água salina e condicionador de solo na produção de beterraba no semi-árido brasileiro. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 17, n. 1, p. 39-41, 1999.

CRUZ, J. L.; PELACANI, C. R.; COELHO, E. F.; CALDAS, R. C.; ALMEIDA, A. Q.; QUEIROZ, J. R. Influência da salinidade sobre o crescimento, absorção e distribuição de sódio, cloro e macronutrientes em

plântulas de maracujazeiro-amarelo. **Bragantia**, Campinas, v. 65, n. 2, p. 275-284, 2006.

DELGADO-VARGAS, F.; JIMÉNEZ, A. R.; PAREDES-LÓPEZ, O. Natural pigments: carotenoids, anthocyanins, and betalains: characteristics, biosynthesis, processing, and stability. **Critical Review in Food Science and Nutrition**, Oxford, v. 40, n. 3, p. 173-289, 2000.

EL-SHEIKH, A. M.; ULRICH, A.; BROYER, T. C. Sodium and rubidium as possible nutrients for sugar beet plants. **Plant Physiology**, Rockville, v. 42, n. 9, p. 1202-1208, 1967.

EPSTEIN, E. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. Rio de Janeiro: LTC, 1975. 341 p.

EPSTEIN, E.; HAGEN, C. E. A kinetic study of the absorption of alkali cations by barley roots. **Plant Physiology**, Rockville, v. 27, n. 3, p. 457-473, 1952.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2005. 183 p.

FARLEY, R. F.; DRAYCOTT, A. P. Growth and yield of sugar beet in relation to potassium and sodium supply. **Journal of the Science Food and Agriculture**, London, v. 26, n. 4, p. 385-392, 1974.

FERREIRA, D. F. **Programa de análises estatísticas (Statistical Analysis Software) e planejamento de experimentos**. Lavras: UFLA, 2003. Software.

FERREIRA, P. A.; MOURA, R. F.; SANTOS, D. B.; FONTES, P. C. R.; MELO, R. F. Efeitos da lixiviação e salinidade da água sobre um solo salinizado cultivado com beterraba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 3, p. 570-579, 2006.

FIGDORE, S. S.; GABELMAN, W. H.; GERLOFF, G. C. The accumulation and distribution of sodium in tomato strains differing in potassium efficiency when grown under low-K stress. **Plan and Soil**, Netherlands, v. 99, n. 1, p. 85-92, 1987.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. Viçosa: UFV, 2000. 401 p.

FRANÇOIS, L. E. Salinity effects on asparagus yield and vegetative growth. **Journal of the American Society of Horticultural Science**, Alexandria, v. 112, n. 3, p. 432-436, 1987.

GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F. de; DAMACENO, F. A. V. **A qualidade da água na agricultura**. Traduzido por R. S. Ayers e D. W. Westcot. 2. ed. Campina Grande: UFPB, 1999. 153 p. (Estudos da FAO: irrigação e drenagem, 29). Título original: Water quality for agriculture.

GLASS, A. D. M.; SIDDIQI, M. Y. The control of nutrient uptake rates in relation to the inorganic composition of plants. In: TINKER, P. B.; LAUCHLI, A. (Ed.). **Advances in plant nutrition**. New York: Praeger, 1984. v. 1, p. 103-148.

GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental**. 13. ed. Piracicaba: Nobel, 2000. 479 p.

GRANGEIRO, L. C.; MEGEREIROS, M. Z.; SOUZA, B. S.; AZEVÊDO, P. E.; OLIVEIRA, S. L.; MEDEIROS, M. A. Acúmulo e exportação de nutrientes pela beterraba. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 21, n. 2, p. 267-273, 2007.

GREENWAY, H.; MUNNS, R. Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. **Annual review of plant physiology**, Polo Solt, v. 31, p. 149-190, 1980.

GUIMARÃES, V. F.; ECHER, M. M.; MINAMI, K. Métodos de produção de mudas, distribuição de matéria seca e produtividade de plantas de beterraba. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 3, p. 505-509, 2002.

HAMID, A.; TALIBUDEEN, O. Effect of sodium on the growth of and ion uptake by barley, sugar beet and broad beans. **Journal of the Agricultural Science of Cambridge**, Cambridge, v. 86, p. 49-56, 1976.

HARMER, P. N.; BENNE, E. J. Sodium as a crop nutrient. **Soil Science**, Baltimore, v. 60, p. 137-148, 1945.

HOAGLAND, D. R.; ARNON, D. I. **The water culture method for growing plants without soil**. Berkley: California Agriculture Experimental Station, 1950. 32 p. (Circular, 47).

HOLT, M. E.; VOLK, N. J. Sodium as a plant nutrient and substitute for potassium. **Journal of the American Society of Agronomy**, Madison, v. 37, p. 821-827, 1945.

HORIE, T.; SCHROEDER, J. I. Sodium transporters in plants: diverse genes and physiological functions. **Plant physiology**, Rockville, v. 136, p. 2457-2462, 2004.

HORTA, A. C. S.; SANTOS, H. S.; SCAPIM, C. A.; CALLEGARI, O. Relação entre produção de beterraba, *Beta vulgaris* var. *conditiva*, e diferentes métodos de plantio. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 25, n. 5, p. 1123-1129, 2001.

INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS. **Hortalças beterraba**. Disponível em: <www.iac.sp.gov.br>. Acesso em: 10 jan. 2008.

KRAUSE, M. V.; MAHAN, L. K. **Alimentos, nutrição e dietoterapia**. 7. ed. São Paulo: Roca, 1991. 981 p.

LANZKOWSKY, P. Metabolismo do ferro e anemia por deficiência de ferro. In: SMITH, C. H.; MILLER, D. R.; PEARSON, H. A.; BAEHNER, R. L.; McMILLAN, C. H. **Hematologia pediátrica**. 4. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1982. p. 97-156.

LARSON, W. E.; PIERRE, W. H. Interaction of sodium and potassium on yield and cation composition of selected crops. **Soil Science**, Philadelphia, v. 76, n. 1, p. 51-64, 1953.

LEHR, J. J. The nutrition of sodium for plant nutrition I. **Soil Science**, Philadelphia, v. 52, p. 237-244, 1941a.

LEHR, J. J. The nutrition of sodium for plant nutrition II: effects on beets of the secondary ions in nitrate fertilizers. **Soil Science**, Philadelphia, v. 52, p. 373-379, 1941b.

LEHR, J. J. The nutrition of sodium for plant nutrition III: effects on beets of the secondary ions in nitrate fertilizers. **Soil Science**, Philadelphia, v. 52, p. 373-379, 1941c.

LEHR, J. J. Sodium as a plant nutrient. **Journal of the Science Food and Agriculture**, London, v. 4, n. 10, p. 460-471, 1953.

LINDSAY, W. **Chemical equilibria in soils**. New York: J. Wiley, 1979. 449 p.

LIU, J. P.; ZHU, J. K. An Arabidopsis mutant that requires increased calcium for potassium nutrition and salt tolerance. **Proceedings Natl. Academy Science USA**, Washington, v. 94, p. 14960-14964, 1997.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 638 p.

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

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. de. **Avaliação do estado nutricional de plantas**. 2. ed. Piracicaba: Potafós, 1997. 319 p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. London: Academic, 1995. 889 p.

MARSCHNER, H.; KUIPER, P. J. C.; KYLIN, A. Genotypic differences in response of sugar beet plants to replacement of potassium by sodium. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 51, n. 2, p. 239-244, 1981.

MEDEIROS, C. A. B. **Melhor desde a raiz: cultivar hortaliças e frutas**. 2000. Disponível em: <<http://www.grupocultivar.com.br>>. Acesso em: 20 set. 2007.

MEDEIROS, C. A. B.; ZIEMER, A. H.; DANIELS, J.; PEREIRA, A. S. Produção de sementes pré-básicas de batata em sistemas hidropônicos. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 1, p. 110-114, 2002.

MIRANDA, J. R. P.; CARVALHO, J. G.; FREIRE, A. L. O.; FERNANDES, A. R.; SANTOS, D. R.; PAIVA, H. N. Cloreto de sódio e silício e seus efeitos na nutrição mineral e na produção de matéria seca de plantas de moringa (*Moringa oleifera* Lam.). **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, v. 44, p. 81-95, 2005.

NEVES, O. S. C.; CARVALHO, J. G. de; RODRIGUES, C. R. Crescimento e nutrição mineral de mudas de umbuzeiro (*Spondia tuberosa* Arr. Cam.), submetidas a níveis de salinidade em solução nutritiva. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 5, p. 997-1006, 2004.

PASTORE, G. M. **Beterraba ajuda a prolongar o bronzeado**. Disponível em: <[www.abhorticultura.com.br](http://www.abhorticultura.com.br)>. Acesso em: 10 jul. 2008.

PEREZ-ALFOCEA, F.; ESTAÑ, M. T.; SANTA CRUZ, A.; BOLARIN, M. C. Effect of salinity on nutrient, total nitrogen, soluble protein and free amino acid

levels in tomato plants. **Journal of Horticultural Science**, Ashford, v. 68, n. 6, p. 1021-1027, 1993.

PESTANA, M.; CORREIA, P. **Culturas em sistema hidropônicos**. Disponível em: <[http://www.isa.utl.pt/dqaa/soloseambiente/PSA\\_CulturaHidroponica.pdf](http://www.isa.utl.pt/dqaa/soloseambiente/PSA_CulturaHidroponica.pdf)>. Acesso em: 20 set. 2007.

PRISCO, J. T. Alguns aspectos da fisiologia do stress salino. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 3, n. 1/2, p. 85-94, 1980.

PUIATTI, M.; FINGER, F. L. Cultura da beterraba. In: FONTES, P. C. R. (Ed.). **Olericultura: teoria e prática**. Viçosa: UFV, 2005. p. 345-354.

RAINS, D. W. Salt transport by plants in relation to salinity. **Annual Review of Plant Physiology**, Polo Solt, v. 23, p. 367-388, 1972.

SÁ, J. R. de. **Silício e cloreto de sódio na nutrição e produção de matéria seca do maracujazeiro amarelo em solução nutritiva**. 2005. 163 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

SARTORELLI, C. S. C. **Caracterização química da parte aérea de cenoura (*Daucus carota*) e beterraba (*Beta vulgaris*) visando ao aproveitamento na alimentação humana**. 1998. 98 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

SCHMEHL, W. R.; JAMES, D. W. Phosphorus and potassium nutrition. In: JOHNSON, R. T. **Advances in sugarbeet production: principles and practices**. Ames: Iowa State University, 1971. p. 137-170.

SHANNON, M. C. Adaptation of plants to salinity. **Advances in Agronomy**, Madison, v. 60, p. 75-120, 1997.

SOUSA, R. A.; LACERDA, C. F.; AMARO FILHO, J.; HERNANDEZ, F. F. F. Crescimento e nutrição mineral de feijão-de-corda em função da salinidade e da composição iônica da água de irrigação. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 2, n. 1, p. 75-82, 2007.

SOUZA, R. J. de; FONTANETTI, A.; FIORINI, C. V. A.; ALMEIDA, K. **Cultura da beterraba: cultivo convencional e orgânico**. Lavras: UFLA, 2003. 37 p. (Texto acadêmico).

STEPHEN, M. P.; CASTRO, I. M. Análise de nitrato e nitrito em folhas e raízes de beterraba “in natura”. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 1996, Poços de Caldas. **Resumos...** Rio de Janeiro: CTAA-Embrapa, 1996. p. 261.

STEWART, G. R.; AHMAD, I. Adaptation to salinity in angiosperm halophytes. In: ROBB, D. A.; PIERPOINT, W. S. (Ed.). **Metals and micronutrients: uptake and utilization by plants.** New York: Academic, 1983. p. 33-50.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal.** 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

TIEDJENS, V. A.; SCHERMERHORN, L. G. Notes on nutrient deficiencies of some vegetable crops. **Proceedings of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 34, n. 1, p. 704-708, 1937.

TRANI, P. E.; FORNASIER, J. B.; LISBÃO, R. S. Nutrição mineral e adubação da beterraba. In: FERREIRA, M. E.; CASTELLANE, P. D.; CRUZ, M. C. P. da (Ed.). **Nutrição e adubação de hortaliças.** Piracicaba: Potafós, 1993. p. 429-446.

TRUOG, E.; BERGER, K. C.; ATTOE, O. J. Response of nine economic plants to fertilization with sodium. **Soil Science**, Philadelphia, v. 76, n. 1, p. 40-50, 1953.

TULLIN, V. Response of the sugar beet to common salt. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 7, n. 4, p. 810-834, 1954.

UENOJO, M.; MARÓSTICA JÚNIOR, M. R.; PASTORE, G. M. Carotenóides: propriedades, aplicações e biotransformações para formação de compostos de aroma. **Química Nova**, São Paulo, v. 30, n. 3, p. 616-622, 2007.

ULRICH, A.; OHKI, K. Chlorine, bromine and sodium as nutrients for sugar beet plants. **Plant Physiology**, Rockville, v. 31, n. 3, p. 171-181, 1956.

WEBB, A. J.; PATEL, N.; LOUKOGEORGAKIS, S.; OKORIE, M.; ABOUD, Z.; MISRA, S.; RASHID, R.; MIALI, P.; DEANFIELD, J.; BENJAMIN, N.; MACALLISTER, R.; HOBBS, A. J.; AHLUWALIA, A. Acute blood pressure lowering, vasoprotective, and antiplatelet properties of dietary nitrate via bioconversion to nitrite. **Hypertension**, v. 51, p. 784-790, 2008.

WORLD HEART ORGANIZATION. **Nitrates, nitrites and N-nitroso compounds**: environmental herat criteria 5. Geneva, 1978.

YAHYA, A. Salinity effects on growth and on uptake and distribution of sodium and some essential mineral nutrients in sesame. **Journal of Plant Nutrition**, v. 21, n. 7, p. 1439-1451, 1998.

YOSHIDA, S.; CASTANEDA, L. Partial replacement of potassium by sodium in the rice plant under weakly saline conditions. **Soil Science Plant Nutrition**, Tokyo, v. 15, p. 183-186, 1969.

YU-YING, L.; HONG, L. Effects of potassium fertilizers on sugar beet yield and quality. **Better Crops International**, v. 11, n. 2, p. 24-25, 1997.

ZHONG, H.; LAÜCHLI, A. Spacial distribution of solutes, K, Na, Ca and their deposition rates in the growth zone of primary cotton roots: effects of NaCl and CaCl<sub>2</sub>. **Planta**, Berlin, v. 194, p. 34-41, 1994.