



Bragantia

ISSN: 0006-8705

editor@iac.sp.gov.br

Secretaria de Agricultura e
Abastecimento do Estado de São Paulo
Brasil

Oliveira da Silva, Alexsandro; Farias de França e Silva, Énio; Evaldo Klar, Antônio
Acúmulo e exportação de macronutrientes em beterraba sob diferentes manejos de
fertilização e salinidade

Bragantia, vol. 76, núm. 1, enero-marzo, 2017, pp. 125-134
Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo
Campinas, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=90850418015>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

Acúmulo e exportação de macronutrientes em beterraba sob diferentes manejos de fertirrigação e salinidade

Accumulation and exportation of macronutrients in beet under different managements of fertigation and salinity

Alexsandro Oliveira da Silva^{1*}, Ênio Farias de França e Silva², Antônio Evaldo Klar³

1. Universidade Federal do Ceará - Engenharia Agrícola - Fortaleza (CE), Brasil.

2. Universidade Federal Rural de Pernambuco - Engenharia Agrícola - Recife (PE), Brasil.

3. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - Faculdade de Ciências Agronômicas - Engenharia Rural - Botucatu (SP), Brasil.

RESUMO: A fertirrigação é uma das principais formas de adubação parcelada; entretanto, se aplicados em excesso, os fertilizantes podem prejudicar o desenvolvimento da cultura. O objetivo deste trabalho foi avaliar o acúmulo e exportação de macronutrientes em um cultivo de beterraba sob 2 manejos de fertirrigação em diferentes níveis de salinidade do solo. O experimento foi realizado em casa de vegetação no município de Botucatu (SP). Os tratamentos constituíram-se da combinação dos fatores salinidade do solo (1,0; 3,0; 6,0; 9,0; 12,0 dS·m⁻¹), manejo da fertirrigação (M_1 = tradicional e M_2 = com controle da concentração iônica) e cultivares de beterraba (C_1 = Early Wonder e C_2 = Itapuã), em um esquema fatorial $5 \times 2 \times 2$, com 4 repetições em blocos casualizados. Após a colheita, foram determinados os acúmulos dos macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, P e S mg·planta⁻¹). Houve um aumento do acúmulo dos nutrientes estudados para ambas as cultivares e manejos de fertirrigação até níveis de condutividade elétrica entre 3 (M_1) e 6 (M_2) dS·m⁻¹. A ordem de exportação dos macronutrientes foi diferenciada para as cultivares estudadas. Para a cultivar Early Wonder, seguiu-se a seguinte ordem: K > N > Ca > Mg > P > S, enquanto que, para a cultivar Itapuã, a ordem foi K > N > Mg > Ca > S > P.

Palavras-chave: *Beta vulgaris* L., condutividade elétrica, fertilizantes.

ABSTRACT: Fertigation is a major form of fertilizer installments; however, if applied in excess, the fertilizers can damage the crop development. The objective of this study was to evaluate the accumulation and exportation of macronutrients in a beet cultivation under 2 fertigation managements at different levels of soil salinity. The experiment was conducted in a greenhouse in the city of Botucatu, Brazil. The treatments consisted of the combination of soil salinity (1.0, 3.0, 6.0, 9.0 and 12.0 dS·m⁻¹), fertigation management (M_1 = traditional and M_2 = control of the ionic concentration), and varieties of beets (C_1 = Early Wonder and C_2 = Itapuã) in a $5 \times 2 \times 2$ factorial design with 4 replications in randomized blocks. After harvest, it was determined the accumulation of macronutrients (N, P, K, Ca, Mg, P, and S mg·plant⁻¹). There was an increased accumulation of nutrients studied for both cultivars and fertigation managements until electrical conductivity levels between 3 (M_1) and 6 (M_2) dS·m⁻¹. The order of macronutrients exportation was different for the studied cultivars. The cultivar Early Wonder followed the following order: K > N > Ca > Mg > P > S, while, for the Itapuã cultivar, the order was K > N > Mg > Ca > S > P.

Key words: *Beta vulgaris* L., electrical conductivity, fertilizers.

*Autor correspondente: alexsandro_oliveira01@hotmail.com

Recebido: 21 Out. 2015 – Aceito: 25 Abr. 2016

INTRODUÇÃO

A fertirrigação é uma das principais formas de adubação parcelada, consistindo na aplicação de fertilizantes solúveis em água no sistema de irrigação ao longo do ciclo durante o manejo da água na cultura (Coelho et al. 2014). Dentre as vantagens da utilização da fertirrigação, podem-se destacar as menores perdas dos fertilizantes por lixiviação e volatilização, além de uma maior eficiência de aplicação de fertilizantes, sendo estes pontualmente aplicados próximos ao sistema radicular das plantas em pequenas dosagens durante todo o ciclo da planta, ajustando as necessidades da mesma nas diferentes fases fenológicas das culturas (Souza et al. 2012; Silva et al. 2015).

O conhecimento da quantidade de nutrientes acumulados na planta fornece importantes informações que podem auxiliar no programa de adubação das culturas. As quantidades de nutrientes necessárias para atender a demanda das culturas são fatores essenciais para a qualidade da produção; contudo, essas informações são escassas para todas as regiões do país, acarretando problemas nutricionais devido a falta ou excesso de fertilizantes aplicados, o que prejudica o desenvolvimento vegetal (Souza et al. 2012; Medeiros et al. 2012).

Com relação à beterraba, poucas informações existem na literatura sobre a exigência nutricional da cultura, principalmente através do uso da fertirrigação, havendo uma necessidade de pesquisas sobre o acúmulo de nutrientes, pois a frequência, a disponibilidade e o ganho produtivo da cultura com essa técnica ainda são pouco estudados no país (Silva et al. 2015; Silva et al. 2013). Granjeiro et al. (2007) observaram que a maior demanda de nutrientes para a cultura da beterraba ocorre no período de 50 a 60 dias após a semeadura (DAS) para o nitrogênio (N) e o magnésio (Mg), 30 a 50 DAS para o fósforo (P), 30 a 40 para o potássio (K) e 40 a 50 DAS para cálcio (Ca). Haag e Minami (1987) observaram para a cultivar Early Wonder uma quantidade total extraída por nutrientes de: 30 kg·ha⁻¹ de N; 8 kg·ha⁻¹ de P; 75 kg·ha⁻¹ de K; 2 kg·ha⁻¹ de Ca e 4 kg·ha⁻¹ de Mg.

O cultivo em ambiente protegido é uma das principais técnicas utilizadas para o cultivo de flores e hortaliças no Estado de São Paulo, onde frequentemente é associado à fertirrigação, agregando, assim, alto valor e qualidade aos produtos, além de alto investimento nesse setor (Tulio et al. 2013). No entanto, a aplicação dos fertilizantes por parte de alguns produtores rurais vem sendo realizada de forma empírica, o que, em alguns casos, eleva a condutividade

elétrica (CE) na solução do solo em níveis desfavoráveis ao desenvolvimento das plantas, causando problemas na produção e prejuízo econômico para o agricultor (Silva et al. 2015, Medeiros et al. 2012). Segundo Silva et al. (2013), o problema de salinização em ambiente protegido é causado pela falta de lâminas de água que promovem a lixiviação de sais nas camadas superficiais do solo, como acontece em campo aberto, através de fatores como a ação da chuva. No caso de estufas agrícolas, altas temperaturas associadas à concentração de sais na solução do solo promovem o acúmulo de sais próximos às raízes, aumentando o potencial total de água no solo, o que dificulta a absorção de água pelas plantas devido ao maior gasto de energia para manter sua turgidez.

Devido ao problema de salinização em cultivo protegido, houve a necessidade de criar métodos de controle da salinidade do solo. Dentre estes, o monitoramento da CE através da solução do solo por meio de extratores de cápsulas porosas vem se destacando em pesquisas envolvendo fertirrigação, sendo sua principal vantagem a praticidade e a eficiência na extração das soluções (Eloi et al. 2011; Souza et al. 2012; Medeiros et al. 2012). Segundo Oliveira et al. (2011), é possível, com auxílio dos extratores por cápsulas porosas, monitorar a concentração total de sais na solução do solo, mantendo a salinidade em nível desejado durante o ciclo de cultivo. Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o acúmulo e a exportação de macronutrientes em cultivares de beterraba sob 2 manejos de fertirrigação (tradicional e controlado) em diferentes níveis de salinidade do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação no município de Botucatu, nas coordenadas geográficas lat 22°51'S e long 48°26'W, e 786 m de altitude. O ensaio foi realizado em vasos de 14 L, sendo o solo retirado de uma camada de 0 a 30 cm, onde o mesmo foi colocado em uma lona durante 1 mês para secagem e depois peneirado em peneira de 4 mm. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo (Embrapa 2013), e as análises físicas e químicas (Tabela 1) foram realizadas no Laboratório de Fertilidade do Solo do Departamento de Ciência do Solo da Faculdade de Ciências Agronômicas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (FCA/UNESP) (Embrapa 1997). Os tratos culturais consistiram na aplicação

preventiva de fungicida e utilização da calagem para elevação da saturação de bases do solo a 80% (Trani e van Raij 1996).

O material de solo foi acondicionado nos vasos (após secagem) providos de uma camada de 2 cm de brita nº 2 e manta sintética, além de um sistema de drenagem. Para obter a salinidade inicial desejada no solo (simulando aplicação de fertilizantes em excesso por parte do produtor), foram adicionadas soluções nutritivas proporcionais aos níveis de CE desejados (1, 3, 6, 9 e 12 dS·m⁻¹), conforme metodologia contida em Silva et al. (2013).

Os sais utilizados na solução nutritiva para a salinização artificial do solo foram escolhidos a fim de manter a proporcionalidade dos nutrientes, como proposto por Furlani (1996), para diversos tipos de hortaliças. As soluções nutritivas com as devidas proporções de sais foram colocadas cuidadosamente no solo até a sua máxima capacidade de armazenamento de água. Após a salinização artificial, foram realizadas novas análises químicas do solo, visando ao reconhecimento da CE do extrato de saturação (pasta saturada) do mesmo, para possíveis correções, elevando-se a CE até os níveis desejados (Tabela 2).

O delineamento experimental foi o de blocos casualizados com 4 repetições, em esquema fatorial 5 × 2 × 2, com 5 níveis

de salinidade (1,0; 3,0; 6,0; 9,0; 12,0 dS·m⁻¹), 2 manejos de fertirrigação (M_1 = tradicional e M_2 = com controle da concentração iônica da solução do solo) e 2 cultivares de beterraba (C_1 = Early Wonder e C_2 = Itapuã), totalizando, assim, 80 unidades experimentais.

Durante o cultivo, os fertilizantes utilizados para o manejo da fertirrigação foram: ureia (46% de N), nitrato de potássio (12% de N e 42% de K₂O), cloreto de potássio (60% de K₂O) e fosfato monoamônico (10% de N e 50% de P₂O₅). As aplicações de adubação total para a cultura da beterraba foram realizadas conforme Trani e van Raij (1996): 120 kg·ha⁻¹ de N; 360 kg·ha⁻¹ de P₂O₅ e 210 kg·ha⁻¹ de K₂O. A aplicação dos fertilizantes foi realizada via água de irrigação com auxílio do injetor Venturi acoplado em um sistema de irrigação por gotejamento com vazão de 4 L·h⁻¹. O cálculo da taxa de injeção foi obtido anteriormente ao início do experimento através de ensaios em laboratório, obtendo-se coeficiente de uniformidade do sistema de irrigação de 92,6% (Mantovani et al. 2009).

O manejo da fertirrigação foi diferenciado para M_1 (tradicional) e M_2 (controlado). Para M_1 , utilizou-se a marcha de absorção de nutrientes pela cultura conforme Granjeiro et al. (2007), em que as quantidades de

→

Tabela 1. Atributos físicos e análise química de Latossolo Vermelho-Amarelo no início do experimento.

| Granulometria | | | Atributos físico-hídricos | | | | | | | |
|-------------------------------------|-----------------------------|------------------------------|---------------------------|--------------------------|--------|-------------------------|--------------------------|----|-----|-------|
| Areia (g·kg ⁻¹) | Silte (g·kg ⁻¹) | Argila (g·kg ⁻¹) | dg (g·cm ⁻³) | ds (g·cm ⁻³) | Po (%) | Cc (g·g ⁻¹) | PMP (g·g ⁻¹) | | | |
| 39,55 | 13,81 | 46,64 | 2,77 | 1,28 | 53,9 | 0,28 | 0,14 | | | |
| Análise química do solo | | | | | | | | | | |
| pH CaCl ₂ | CE dS·m ⁻¹ | MO g·dm ⁻³ | P Mg·dm ⁻³ | K | Ca | Mg | H + Al | SB | CTC | V (%) |
| 5,1 | 0,32 | 11 | 6 | 0,6 | 22 | 7 | 26 | 29 | 55 | 53 |
| mmol _c ·dm ⁻³ | | | | | | | | | | |

dg = Densidade global; ds = Densidade do solo; Po = Porosidade total; Cc = Umidade na capacidade de campo; PMP = Ponto de murcha permanente; CE = Condutividade elétrica; MO = Matéria orgânica; H + Al = Acidez potencial; SB = Soma de bases; CTC = Complexo de troca catiônica; V = Saturação por bases.

Tabela 2. Atributos químicos do Latossolo Vermelho-Amarelo determinados após salinização

| Tratamento | pH CaCl ₂ | CE (dS·m ⁻¹) | MO (g·dm ⁻³) | P (Mg·dm ⁻³) | K | Ca | Mg | H + Al | SB | CTC | V (%) |
|-----------------|----------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|------|------|------|--------|-------|-------|-------|
| | | | | | | | | | | | |
| S ₁ | 5,5 | 0,5 | 25,3 | 22,6 | 1,5 | 44 | 13,8 | 25,6 | 59,3 | 84,9 | 70,0 |
| S ₃ | 5,5 | 3,4 | 24,0 | 80,0 | 6,0 | 47 | 15,0 | 24,0 | 68,0 | 91,0 | 74,0 |
| S ₆ | 5,4 | 6,3 | 21,8 | 104,6 | 7,6 | 49,9 | 14,7 | 26,6 | 72,2 | 98,7 | 73,1 |
| S ₉ | 5,5 | 9,2 | 22,8 | 132,6 | 6,9 | 55,9 | 14,9 | 26,6 | 77,7 | 104,4 | 74,5 |
| S ₁₂ | 5,5 | 12,3 | 21,9 | 154,0 | 16,5 | 71 | 19,3 | 25,6 | 106,8 | 132,4 | 80,6 |

CE = Condutividade elétrica do extrato de saturação; MO = Matéria orgânica; H + Al = Acidez potencial; SB = Soma de bases; CTC = Complexo de troca catiônica; V = Saturação por bases; S₁ a S₁₂ = Condutividade elétrica de 1, 3, 6, 9 e 12 dS·m⁻¹.

fertilizantes (Trani e van Raij 1996) foram parceladas durante todo o ciclo com frequência de fertirrigação periódica. Para o manejo M₂, empregou-se inicialmente a mesma recomendação do manejo M₁, porém, a partir de 10 dias após o transplantio (DAT), não foi preestabelecida a frequência de fertirrigação utilizada para M₂, pois esta só era realizada quando a CE na solução do solo estava 20% abaixo dos níveis iniciais de salinização para cada tratamento, sendo cada evento de fertirrigação finalizado quando a CE se encontrava 20% acima dos níveis iniciais preestabelecidos. Tal metodologia foi utilizada com sucesso por Eloi et al. (2011). Para determinar os níveis de CE presentes na solução do solo, utilizaram-se extratores de cápsulas porosas para sua extração e condutivímetro de bancada para o seu monitoramento (Oliveira et al. 2011).

O manejo da irrigação foi realizado através do monitoramento da umidade do solo, obtido com auxílio da curva característica do solo, determinada através da pesagem de vasos para a obtenção da umidade e suas respectivas tensões (kPa) durante o período de 30 dias (Figura 1). A lâmina de irrigação foi calculada a partir da leitura da tensão média em cada tratamento e da curva de retenção de água no solo. As medidas de tensão foram obtidas através de tensímetros de punção, instalados em cada parcela, onde a leitura do potencial matricial era realizada em tensímetros digitais. De posse dessas umidades e daquela correspondente à capacidade de container e, ainda, considerando-se o volume de solo presente no vaso, calculou-se o volume de reposição conforme Mantovani et al. (2009).

As mudas cultivadas durante 30 dias em bandejas de isopor com 288 células (1 planta por célula) foram transplantadas para os vasos no dia 28/11/2011, colocando-se 2 mudas por

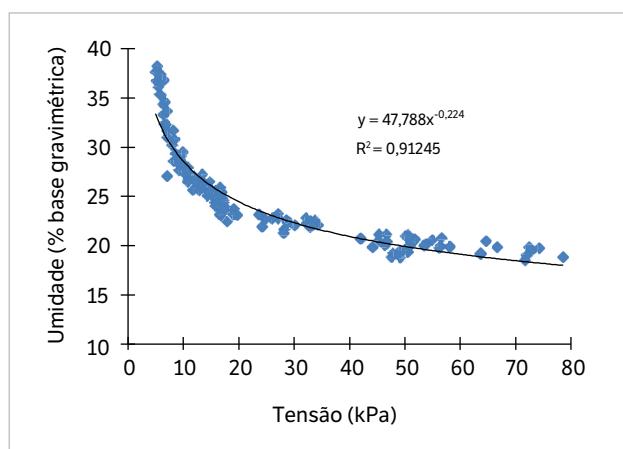


Figura 1. Curva característica de retenção da água no solo.

vaso, e, após 10 dias, foram deixadas apenas as mudas mais vigorosas em cada parcela. A colheita foi realizada 52 DAT (19/01/2012), sendo separada a massa fresca da parte aérea das raízes das plantas; em seguida, foi realizada a lavagem das plantas colocando-se cada parte separadamente em sacos de papel para posterior secagem em estufas de circulação forçada de ar com temperatura de 65 – 70 °C, até atingir massa constante.

Após a pesagem da massa de matéria seca da parte aérea e das raízes em balança de precisão (0,01g), as amostras foram processadas em moinho tipo Willey (peneira de 2 mm) e acondicionadas em recipientes fechados. As análises químicas para a determinação dos teores de nutrientes presentes em cada fração da planta (parte aérea e raiz) seguiram a metodologia contida em Malavolta et al. (1997), determinando-se os teores de N, P, K, Ca, Mg e enxofre (S). Os resultados dessas análises forneceram as concentrações dos nutrientes e, para se determinar a quantidade desses acumulados em cada fração da planta, multiplicou-se a concentração pela massa seca da referida fração, sendo que o acúmulo total na planta foi determinado através da soma do acúmulo das frações para cada nutriente.

O efeito dos fatores salinidade, manejo da fertirrigação e cultivares sobre as variáveis acúmulo de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) nas frações das plantas estudadas foi avaliado a partir de análise de variância (teste F), cujo efeito dos tratamentos foram estudados por meio do teste de comparações de médias pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade para os fatores manejo e cultivar; para o fator salinidade, utilizou-se análise de regressão. As equações de regressão foram selecionadas com base na significância dos coeficientes de regressão, a 0,01 e 0,05 de probabilidade e maior valor do coeficiente de determinação (R^2). Os testes estatísticos foram realizados com o auxílio do programa estatístico SISVAR versão 5.0 (Ferreira 2008).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Acúmulo de macronutrientes na parte aérea

Para o acúmulo ($\text{mg} \cdot \text{planta}^{-1}$) de nutrientes na parte aérea das plantas, os fatores cultivar, manejo de fertirrigação e salinidade do solo apresentaram efeito significativo para as variáveis N, K, P, Mg e S em todos os fatores estudados, excetuando-se apenas a variável Ca nos fatores cultivar e manejo.

De acordo com o teste de média para o fator cultivar (Tabela 3), o acúmulo de N, P, K, Mg e S foi maior para cultivar Itapuã (C_2), demonstrando uma maior necessidade de absorção de nutriente desta em relação à cultivar Early Wonder (C_1). Em estudos sobre o acúmulo e exportação de nutrientes na beterraba, Granjeiro et al. (2007) observaram um acúmulo de 558,3 mg·planta⁻¹ de N, obtido aos 60 DAS, sendo tal valor próximo ao obtido para C_1 . Os valores de P na cultura da beterraba no presente estudo foram os menores dentre os nutrientes estudados (57,2 mg·planta⁻¹ para Early Wonder e 71,57 mg·planta⁻¹ para Itapuã), ficando próximos dos valores apresentados por Granjeiro et al. (2007) e Haag e Minami (1987), o que confirma a baixa necessidade desse nutriente pela cultura.

O acúmulo de macronutrientes em relação ao fator manejo da fertirrigação apresentou diferenças para N, K, Mg e S, com maiores valores para M_2 (Tabela 3). Não houve diferenças significativas para o acúmulo de P e Ca na parte aérea das plantas com relação aos manejos da fertirrigação estudados. Observa-se que os valores de K foram os maiores dentre os nutrientes acumulados; possivelmente, o excessivo acúmulo desse nutriente se deve à alta disponibilidade no solo, conforme Wakeel et al. (2010) em estudos sobre a substituição de K por Na na beterraba açucareira e Sedyama et al. (2011) ao avaliarem a produtividade e exportação de nutrientes em beterraba submetida a cobertura morta e adubação orgânica. Em ambas as pesquisas citadas, observou-se maior acúmulo de K na cultura da beterraba em relação aos demais nutrientes absorvidos.

As equações de regressão para a resposta do acúmulo de nutrientes nas cultivares de beterraba sob diferentes manejos de fertirrigação em função dos níveis de salinidade propostos na parte aérea das plantas estão apresentadas na Tabela 4.

Para a variável N, no manejo M_1 , observou-se uma resposta linear para ambas as cultivares estudadas, com decréscimos de 49,29 (C_1) e 42,79 (C_2) mg·planta⁻¹ para cada aumento unitário da CE no solo. Já o manejo M_2 apresentou ajuste quadrático, onde, derivando-se as equações, observaram-se maiores valores acumulados de N em níveis de CE igual a 4,33 (C_1) e 4,15 (C_2) dS·m⁻¹. Para a variável P, o ajuste foi linear para o manejo M_1 em ambas as cultivares estudadas com redução de 5,14 (C_1) e 4,23 (C_2) mg·planta⁻¹; para cada aumento unitário da CE no solo, não foram observados ajustes de nenhum dos modelos propostos para M_2 . Segundo Avalhaes et al. (2009), em estudos sobre o rendimento e crescimento da beterraba em função da adubação de P, as maiores concentrações desse elemento se encontram na parte aérea da cultura (4,7 g·kg⁻¹) e não nas raízes das plantas; portanto, devido à baixa exigência desse nutriente, a elevada disponibilidade no solo não causou nenhuma influência em sua absorção.

As variáveis K, Ca, Mg e S (Tabela 4) apresentaram, para o manejo M_1 , ajuste linear para ambas as cultivares estudadas, onde foram observadas reduções do acúmulo desse nutriente nas plantas, conforme o aumento da salinidade do solo. O manejo M_2 apresentou ajuste quadrático para ambas as cultivares, com valores de CE variando entre 4,50 dS·m⁻¹ e 6,27 dS·m⁻¹ para os maiores acúmulos desses nutrientes. Apenas a variável S não apresentou ajuste para o manejo M_2 .

Acúmulo de macronutrientes na raiz

Para o fator cultivar, apenas as variáveis N, P e S apresentaram resposta significativa ($p < 0,05$) pelo teste F. Conforme a Tabela 5, pode-se observar que a cultivar C_2 apresentou maior acúmulo dos nutrientes N, P e S em

→

Tabela 3. Médias das massas dos macronutrientes acumulados na parte aérea da planta em função das cultivares e manejos da fertirrigação estudados.

| Tratamentos | N | P | K | Ca | Mg | S |
|--------------------------------|-------------------------|---------|------------|----------|----------|---------|
| | mg·planta ⁻¹ | | | | | |
| Early Wonder | 560,32 a ¹ | 57,20 a | 1.493,97 a | 384,87 a | 342,87 a | 63,65 a |
| Itapuã | 759,92 b | 71,57 b | 1.978,55 b | 402,67 a | 437,97 b | 88,32 b |
| DMS | 51,35 | 7,55 | 148,37 | 50,4 | 36,86 | 8,55 |
| Manejo da fertirrigação | | | | | | |
| Tradicional | 617,25 a ¹ | 64,32 a | 1.493,52 a | 386,15 a | 370,62 a | 69,75 a |
| Controlado | 703,0 b | 64,45 a | 1.979,00 b | 401,40 a | 410,22 b | 82,22 b |
| DMS | 51,35 | 7,55 | 148,37 | 50,4 | 36,86 | 8,55 |

¹Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente a 0,05 de probabilidade pelo teste de Tukey. DMS = Diferença mínima significativa.

relação à cultivar C₁. Tais resultados assemelham-se aos observados por Granjeiro et al. (2007), em que os valores

de N foram superiores a 200 mg·planta⁻¹ e inferiores a 500 mg·planta⁻¹ para as raízes dessa cultura. Porém, alguns

→

Tabela 4. Equações de regressão ajustadas aos dados do acúmulo (mg·planta⁻¹) dos macronutrientes na parte aérea da cultura da beterraba em função dos níveis de salinidade do solo e manejo da fertirrigação estudados.

| Nutriente | Cultivar | Equações de regressão ajustadas | R ² |
|-----------|----------------|--|----------------|
| N | C ₁ | $\hat{y}(M_1) = -49,29^{**}CE + 922,85$ | 0,68 |
| | | $\hat{y}(M_2) = -6,53^{**}CE^2 + 56,65^{**}CE + 706,11$ | 0,45 |
| | C ₂ | $\hat{y}(M_1) = -42,79^{**}CE + 962,22$ | 0,78 |
| | | $\hat{y}(M_2) = -6,08^{**}CE^2 + 50,64^{**}CE + 838,92$ | 0,59 |
| P | C ₁ | $\hat{y}(M_1) = -5,14^{**}CE + 96,32$ | 0,54 |
| | | $\hat{y}(M_2) = ns$ | ns |
| | C ₂ | $\hat{y}(M_1) = -4,23^{**}CE + 95,79$ | 0,88 |
| | | $\hat{y}(M_2) = ns$ | ns |
| K | C ₁ | $\hat{y}(M_1) = -112,50^{**}CE + 2.191,0$ | 0,68 |
| | | $\hat{y}(M_2) = -23,28^{**}CE^2 + 255,19^{**}CE + 1.658,9$ | 0,87 |
| | C ₂ | $\hat{y}(M_1) = -95,06^{**}CE + 2.253,7$ | 0,76 |
| | | $\hat{y}(M_2) = -24,49^{**}CE^2 + 289,41^{**}CE + 1.826,4$ | 0,47 |
| Ca | C ₁ | $\hat{y}(M_1) = -36,42^{**}CE + 627,24$ | 0,55 |
| | | $\hat{y}(M_2) = -5,44^{**}CE^2 + 60,20^{**}CE + 308,15$ | 0,62 |
| | C ₂ | $\hat{y}(M_1) = -37,36^{**}CE + 631,85$ | 0,72 |
| | | $\hat{y}(M_2) = -7,46^{**}CE^2 + 93,69^{**}CE + 229,03$ | 0,30 |
| Mg | C ₁ | $\hat{y}(M_1) = -34,61^{**}CE + 585,16$ | 0,77 |
| | | $\hat{y}(M_2) = -5,22^{**}CE^2 + 47,13^{**}CE + 401,4$ | 0,48 |
| | C ₂ | $\hat{y}(M_1) = -32,08^{**}CE + 607,78$ | 0,84 |
| | | $\hat{y}(M_2) = -6,72^{**}CE^2 + 69,61^{**}CE + 400,20$ | 0,57 |
| S | C ₁ | $\hat{y}(M_1) = -6,03^{**}CE + 107,14$ | 0,97 |
| | | $\hat{y}(M_2) = -0,93^{**}CE^2 + 9,94^{**}CE + 71,03$ | 0,82 |
| | C ₂ | $\hat{y}(M_1) = -6,19^{**}CE + 118,82$ | 0,71 |
| | | $\hat{y}(M_2) = ns$ | ns |

** e *Significativo a 0,01 e 0,05 de probabilidade pelo teste t, respectivamente; ns = Não significativo (p > 0,05); C₁ e C₂ = Early Wonder e Itapuã, respectivamente; M₁ e M₂ = Manejo da fertirrigação tradicional e controlado, respectivamente; CE = Condutividade elétrica.

Tabela 5. Médias das massas dos macronutrientes acumulados nas raízes das plantas em função das cultivares e manejos da fertirrigação estudados.

| Tratamentos | N | P | K | Ca | Mg | S |
|--------------------------------|-----------------------|---------|------------|----------|----------|---------|
| | | | | | | |
| Cultivar | | | | | | |
| Early Wonder | 384,47 a ¹ | 38,95 a | 1.101,25 a | 279,45 a | 246,47 a | 32,92 a |
| Itapuã | 472,85 b | 47,25 b | 1.297,60 a | 263,45 a | 285,35 a | 45,02 b |
| DMS | 47,80 | 6,52 | 205,23 | 51,35 | 42,92 | 4,44 |
| Manejo da fertirrigação | | | | | | |
| Tradicional | 396,85 a ¹ | 43,50 a | 1.106,80 a | 248,70 a | 268,32 a | 36,72 a |
| Controlado | 460,47 b | 42,70 a | 1.297,05 a | 248,17 a | 263,50 b | 41,22 b |
| DMS | 47,80 | 6,52 | 205,23 | 51,35 | 42,92 | 4,44 |

¹Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente a 0,05 de probabilidade pelo teste de Tukey. DMS = Diferença mínima significativa.

estudos apontam resultados superiores aos encontrados neste experimento, como Gondim et al. (2011), ao estudarem o crescimento e acúmulo de nutrientes nas raízes de plantas de beterrabas em sistema hidropônico, com valores de N acima de 700 mg·planta⁻¹.

O P apresentou um dos menores valores acumulados nas plantas dentre os elementos em estudo, com 38,95 mg·planta⁻¹ para C₁ e 47,25 mg·planta⁻¹ para C₂. Os resultados obtidos para o acúmulo de P neste estudo diferem dos apresentados por Avalhaes et al. (2009), que observaram um aumento no acúmulo de P nas raízes da cultura da beterraba para doses de P variando entre 0 e 400 mg·dm⁻³. Por tais observações, pode-se afirmar que a necessidade de cada nutriente entre as cultivares estudadas pode ser diferenciada de acordo com a adaptabilidade da cultura no local em estudo.

Para o fator manejo da fertirrigação no acúmulo de nutrientes nas raízes de beterraba (Tabela 5), observou-se efeito significativo apenas para as variáveis N, Mg e S, com maiores valores observados para M₂. Os valores apresentados para N e Mg foram superiores aos encontrados por Granjeiro et al. (2007), que observaram resultados próximos a 210 mg·planta⁻¹ para N e 50 mg·planta⁻¹ para S; possivelmente, o excesso desses elementos no solo contribuiu para um maior acúmulo nas plantas.

A análise de regressão para o acúmulo dos macronutrientes em resposta ao manejo da fertirrigação e salinidade do solo encontra-se apresentada na Tabela 6. Observa-se que apenas M₁ apresentou ajuste para os modelos de regressão propostos, excetuando-se apenas as variáveis N para C₂ e S para C₁, que obtiveram um ajuste quadrático para M₂. Para a variável N, observou-se um decréscimo de 17,39 (C₁) e

Tabela 6. Equações de regressão ajustadas aos dados de acúmulo (mg·planta⁻¹) dos macronutrientes nas raízes da cultura da beterraba em função dos níveis de salinidade do solo e manejo da fertirrigação estudados.

| Nutriente | Cultivar | Equações de regressão ajustadas | R ² |
|-----------|----------------|---|----------------|
| N | C ₁ | $\hat{y}(M_1) = -17,39^{**}CE + 472,37$ | 0,90 |
| | | $\hat{y}(M_2) = ns$ | ns |
| | C ₂ | $\hat{y}(M_1) = -13,77^{**}CE + 514,62$ | 0,84 |
| | | $\hat{y}(M_2) = -12,90^{**}CE + 596,90$ | 0,72 |
| P | C ₁ | $\hat{y}(M_1) = 0,59^{*}CE^2 - 9,30^{**}CE + 65,12$ | 0,94 |
| | | $\hat{y}(M_2) = ns$ | ns |
| | C ₂ | $\hat{y}(M_1) = -2,91^{**}CE + 65,57$ | 0,83 |
| | | $\hat{y}(M_2) = ns$ | ns |
| K | C ₁ | $\hat{y}(M_1) = 23,90^{*}CE^2 - 295,49^{**}CE + 1.586,29$ | 0,77 |
| | | $\hat{y}(M_2) = ns$ | ns |
| | C ₂ | $\hat{y}(M_1) = -68,64^{**}CE + 1.589,45$ | 0,75 |
| | | $\hat{y}(M_2) = ns$ | ns |
| Ca | C ₁ | $\hat{y}(M_1) = 6,04^{**}CE^2 - 77,79^{**}CE + 461,78$ | 0,88 |
| | | $\hat{y}(M_2) = ns$ | ns |
| | C ₂ | $\hat{y}(M_1) = 3,32^{*}CE^2 - 69,13^{**}CE + 529,55$ | 0,81 |
| | | $\hat{y}(M_2) = ns$ | ns |
| Mg | C ₁ | $\hat{y}(M_1) = 5,67^{*}CE^2 - 77,526^{**}CE + 427,98$ | 0,89 |
| | | $\hat{y}(M_2) = ns$ | ns |
| | C ₂ | $\hat{y}(M_1) = -20,96^{**}CE + 411,94$ | 0,90 |
| | | $\hat{y}(M_2) = ns$ | ns |
| S | C ₁ | $\hat{y}(M_1) = -2,08^{**}CE + 43,70$ | 0,93 |
| | | $\hat{y}(M_2) = -0,66^{**}CE^2 - 7,27^{*}CE + 25,60^{**}$ | 0,93 |
| | C ₂ | $\hat{y}(M_1) = -3,28^{**}CE + 63,02$ | 0,89 |
| | | $\hat{y}(M_2) = ns$ | ns |

** e *Significativo a 0,01 e 0,05 de probabilidade pelo teste t, respectivamente; ns = Não significativo (p > 0,05); C₁ e C₂ = Early Wonder e Itapuã, respectivamente; M₁ e M₂ = Manejo da fertirrigação tradicional e controlado, respectivamente; CE = Condutividade elétrica.

13,77 (C_2) mg·planta⁻¹ para cada aumento unitário da CE no solo. As variáveis P e K apresentaram ajuste quadrático para C_1 com maiores valores de acúmulo obtidos para CE de 7,81 (P) e 6,18 (K) dS·m⁻¹, enquanto a C_2 apresentou decréscimo de 2,91 (P) e 68,64 (K) mg·planta⁻¹ para cada aumento unitário da CE no solo. A variável Ca apresentou maiores valores de acúmulos para CE de 6,43 (C_1) e 10,41 (C_2) dS·m⁻¹, enquanto, na variável Mg, foram observados maiores valores de acúmulo na CE de 6,83 dS·m⁻¹ para C_1 .

Para a variável S, a cultivar C_1 apresentou diferentes ajustes para os manejos de fertirrigação estudados, em que M_1 apresentou ajuste linear com decréscimo de 20,96 mg·planta⁻¹ e, em M_2 , obteve-se ajuste quadrático com maiores valores de acúmulo para CE de 5,51 dS·m⁻¹. Para C_2 , o M_1 apresentou ajuste linear com redução de 3,28 dS·m⁻¹ para cada aumento unitário da CE no solo. Gondim et al. (2011) apresentaram valores para S abaixo de 100 mg·planta⁻¹, e tais resultados apresentaram semelhanças com os deste estudo, apesar das diferentes condições de cultivo entre os experimentos (com e sem solo), o que possivelmente indica a baixa absorção de S por parte da cultura, independentemente da disponibilidade de S.

Exportação total de nutrientes

Para a exportação de macronutrientes pelas plantas, observou-se que a C_2 apresentou maiores valores de

exportação para N, P, K, Mg e S, enquanto, para a variável Ca, não foram observadas diferenças entre as cultivares estudadas (Tabela 7). Os resultados obtidos para C_2 foram semelhantes aos obtidos por Sedyama et al. (2011), que observaram uma exportação para cultura da beterraba na ordem de K > N > Ca > Mg > P > S. Porém, os valores de Ca e Mg no presente estudo foram superiores aos observados por esses autores. Com relação ao fator manejo da fertirrigação, a exportação de N, K e S foi superior no M_2 , e, possivelmente, o efeito da salinidade do solo pode ter influenciado de maneira negativa no M_1 , como observado no estudo de Silva et al. (2015), onde o excesso de sais prejudicou o desenvolvimento da cultura da beterraba no manejo tradicional da fertirrigação.

Podem-se verificar na Tabela 8 os modelos de regressão ajustados para a exportação de nutrientes na massa de matéria seca total das plantas em função do manejo e salinidade do solo propostos. Observa-se que houve diferentes ajustes de modelos (linear e polinomial) para cada manejo da fertirrigação, em que o M_1 apresentou, na maioria das variáveis estudadas, ajuste linear em função do aumento unitário da salinidade do solo, enquanto o manejo M_2 apresentou um ajuste quadrático para as variáveis N (C_1) e K (C_1 e C_2) e linear para N (C_2) e Mg (C_1 e C_2). Para as variáveis P, Ca e S, houve ajuste dos dados em relação aos modelos propostos.

Tabela 7. Médias das massas dos macronutrientes exportados na cultura da beterraba em função das cultivares e manejos da fertirrigação estudados.

| Tratamentos | N | P | K | Ca | Mg | S |
|--------------------------------|-----------------------|---------|----------|----------|----------|---------|
| | kg·ha ⁻¹ | | | | | |
| Cultivar | | | | | | |
| Early Wonder | 157,53 a ¹ | 16,37 a | 421,50 a | 108,15 a | 95,75 a | 15,62 a |
| Itapuã | 204,22 b | 19,32 b | 532,12 b | 107,97 a | 117,47 b | 21,67 b |
| DMS | 11,90 | 2,27 | 37,11 | 12,97 | 8,83 | 1,93 |
| Manejo da fertirrigação | | | | | | |
| Tradicional | 172,82 a | 17,40 a | 422,37 a | 113,02 a | 103,75 a | 17,27 a |
| Controlado | 188,92 b | 18,30 a | 531,25 b | 103,10 a | 109,47 a | 20,02 b |
| DMS | 11,90 | 2,27 | 37,11 | 12,97 | 8,83 | 1,93 |

¹Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente a 0,05 de probabilidade pelo teste de Tukey.

Tabela 8. Equações de regressão ajustadas aos dados de exportação total (kg·ha⁻¹) dos macronutrientes na cultura da beterraba em função dos níveis de salinidade do solo e manejo da fertirrigação estudados.

| Nutriente | Cultivar | Equações de regressão ajustadas | R ² |
|-----------|----------|---|----------------|
| N | C_1 | $\hat{y}(M_1) = -8,91^{**}CE + 209,93$ | 0,77 |
| | | $\hat{y}(M_2) = -1,73^{**}CE^2 + 17,12^{**}CE + 148,15$ | 0,67 |

...Continua

Tabela 8. Continuação...

| Nutriente | Cultivar | Equações de regressão ajustadas | R ² |
|-----------|----------------|---|----------------|
| N | C ₂ | $\hat{y}(M_1) = -11,87^{**}CE + 264,62$ | 0,93 |
| | | $\hat{y}(M_2) = -6,67^{**}CE + 258,83$ | 0,83 |
| P | C ₁ | $\hat{y}(M_1) = 0,27^{*}CE^2 - 4,19^{**}CE + 28,66$ | 0,94 |
| | | $\hat{y}(M_2) = ns$ | ns |
| K | C ₂ | $\hat{y}(M_1) = -1,15^{**}CE + 26,23$ | 0,88 |
| | | $\hat{y}(M_2) = ns$ | ns |
| Ca | C ₁ | $\hat{y}(M_1) = -18,76^{**}CE + 501,68$ | 0,70 |
| | | $\hat{y}(M_2) = -5,94^{**}CE^2 + 65,63^{**}CE + 373,18$ | 0,75 |
| Mg | C ₂ | $\hat{y}(M_1) = -26,56^{**}CE + 624,12$ | 0,90 |
| | | $\hat{y}(M_2) = -4,03^{*}CE^2 + 47,42^{*}CE + 529,29$ | 0,96 |
| S | C ₁ | $\hat{y}(M_1) = -5,66^{**}CE + 150,59$ | 0,60 |
| | | $\hat{y}(M_2) = ns$ | ns |
| Mg | C ₂ | $\hat{y}(M_1) = -10,32^{**}CE + 174,59$ | 0,80 |
| | | $\hat{y}(M_2) = ns$ | ns |
| S | C ₁ | $\hat{y}(M_1) = -6,69^{**}CE + 136,93$ | 0,78 |
| | | $\hat{y}(M_2) = -5,25^{**}CE + 128,68$ | 0,69 |
| Mg | C ₂ | $\hat{y}(M_1) = -8,62^{**}CE + 165,57$ | 0,98 |
| | | $\hat{y}(M_2) = -4,19^{**}CE + 148,84$ | 0,42 |
| S | C ₂ | $\hat{y}(M_1) = -1,29^{**}CE + 22,65$ | 0,95 |
| | | $\hat{y}(M_2) = ns$ | ns |

** e *Significativo a 0,01 e 0,05 de probabilidade pelo teste t, respectivamente; ns = Não significativo ($p > 0,05$); C₁ e C₂ = Early Wonder e Itapuã, respectivamente; M₁ e M₂ = Manejo da fertirrigação tradicional e controlado, respectivamente; CE = Condutividade elétrica.

CONCLUSÃO

Houve um aumento do acúmulo dos nutrientes estudados para ambas as cultivares e manejos de fertirrigação até níveis de CE entre 3 (M₁) e 6 (M₂) dS·m⁻¹. Níveis elevados de CE proporcionaram menor acúmulo dos nutrientes estudados.

A ordem de exportação dos macronutrientes foi diferenciada para as cultivares estudadas. Para a cultivar Early Wonder, obteve-se a seguinte ordem: K > N > Ca > Mg > P > S (421,5; 157,5; 108,1; 95,7; 16,3 e 15,6 kg·ha⁻¹, respectivamente); já para a cultivar Itapuã, a ordem foi: K > N > Mg > Ca > S > P (532,1; 204,2; 117,4; 107,9; 21,6 e 19,3 kg·ha⁻¹, respectivamente).

REFERÊNCIAS

- Avalhaes, C. C., Prado, R. M., Gondim, A. R. O., Alves, A. U. e Correia, M. A. R. (2009). Rendimento e crescimento da beterraba em função da adubação com fósforo. *Scientia Agrária*, 10, 75-80.
- Coelho, E. F., Costa, F. S., Silva, A. C. e Carvalho, G. C. (2014). Concentração de nitrato no perfil do solo fertigado com diferentes concentrações de fontes nitrogenadas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, 18, 263-269. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662014000300004>.
- Eloi, W. M., Duarte, S. N., Soares, T. M., Silva, E. F. F. e Miranda, J. H. (2011). Rendimento comercial em resposta à salinização ocasionada pela fertigação em ambiente protegido. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 15, 471-476. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662011000500006>.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (1997). Serviço nacional de levantamento e conservação do solo. Manual de métodos de análises de solo. 2. ed. Rio Janeiro: Embrapa.

- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2013). Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília: Embrapa.
- Ferreira, D. F. (2008). Sisvar: um programa para análises e ensino de estatística. *Revista Symposium*, 6, 36-41.
- Furlani, P. R. (1996). Hidropônia. In B. van Raij, H. Cantarella, J. A. Quaggio e A. M. C. Furlani (Eds.), *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo* (p. 275-280). 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico, Fundação IAC.
- Gondim, A. R. O., Correia, M. A. R., Alves, A. U., Prado, R. M. e Cecílio Filho, A. B. (2011). Crescimento e marcha de acúmulo de nutrientes em plantas de beterraba cultivada em sistema hidropônico. *Bioscience Journal*, 27, 526-535.
- Granjeiro, L. C., Negreiros, M. Z., Souza, B. S., Azevedo, P. E., Oliveira, S. L. e Medeiros, M. A. (2007). Acúmulo e exportação de nutrientes em beterraba. *Ciência e Agrotecnologia*, 31, 267-273. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542007000200001>.
- Haag, H. P. e Minami, K. (1987). Nutrição mineral de hortaliças: LXIII. Requerimento de nutrientes pela cultura da beterraba. *Anais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”*, 44, 401-407. <http://dx.doi.org/10.1590/S0071-12761987000100021>.
- Malavolta, E., Vitti, G. C. e Oliveira, S. A. (1997). Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: Potafos.
- Mantovani, E. C., Bernardo, S. e Palaretti, L. F. (2009). Irrigação: princípios e métodos. Viçosa: UFV.
- Medeiros, P. R. F., Duarte, S. N. e Silva, E. F. F. (2012). Eficiência do uso da água e de fertilizantes no manejo de fertirrigação no cultivo do tomateiro sob condições de salinidade do solo. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 7, 344-351. <http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v7i2a1563>.
- Oliveira, F. A., Medeiros, J. F., Duarte, S. N., Silva Júnior, M. J. e Campelo, C. M. (2011). Calibração de extratores providos de cápsula porosa para monitoramento da salinidade e da concentração de íons. *Engenharia Agrícola*, 31, 520-528. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162011000300012>.
- Sedyama, M. A. N., Santos, M. R., Vidigal, S. M. e Salgado, L. T. (2011). Produtividade e exportação de nutrientes em beterraba cultivada com cobertura morta e adubação orgânica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 15, 883-889. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662011000900002>.
- Silva, A. O., Klar, A. E. e Silva, E. F. F. (2015). Manejo da fertirrigação e salinidade do solo no crescimento da cultura da beterraba. *Engenharia Agrícola*, 35, 230-241. <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v35n2p230-241/2015>.
- Silva, A. O., Klar, A. E., Silva, E. F. F., Tanaka, A. A. e Silva Júnior, J. F. (2013). Relações hídricas em cultivares de beterraba em diferentes níveis de salinidade do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 17, 1143-1151. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662013001100003>.
- Souza, T. R., Villas Bôas, R. L., Quaggio, J. A., Salomão, L. C. e Foratto, L. C. (2012). Dinâmica de nutrientes na solução do solo em pomar fertirrigado de citros. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 47, 846-854. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2012000600016>.
- Trani, P. E. e van Raij, B. (1996). Hortaliças. In B. van Raij, H. Cantarella, J. A. Quaggio e A. M. C. Furlani, *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo* (p. 155-186.). 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico, Fundação IAC.
- Tulio, J. A., Otto, R. F., Boer, A. e Ohse, S. (2013). Cultivo de beterraba em ambiente protegido e natural na época de verão. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 17, 1074-1079. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662013001000008>.
- Wakeel, A., Steffens, D. e Schubert, S. (2010). Potassium substitution by sodium in sugar beet (*Beta vulgaris*) nutrition on K-fixing soils. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 173, 127-134. <http://dx.doi.org/10.1002/jpln.200900270>.