

## Deficiências de micronutrientes no estado nutricional de fisalis

Micronutrients deficiency on the nutritional status of physalis

Deficiencias de micronutrientes en el estado nutricional de physalis

Recebido: 16/05/2022 | Revisado: 14/06/2022 | Aceito: 15/06/2022 | Publicado: 18/06/2022

### Patrícia Lage

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6027-8387>  
Instituto Federal de Minas Gerais, Brasil  
E-mail: [patricialage.biologa@gmail.com](mailto:patricialage.biologa@gmail.com)

### Enilson de Barros Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2088-9965>  
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil  
E-mail: [ebsilva@ufvjm.edu.br](mailto:ebsilva@ufvjm.edu.br)

### Evander Alves Ferreira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4701-6862>  
Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil  
E-mail: [evanderaves@gmail.com](mailto:evanderaves@gmail.com)

### Josiane Costa Maciel

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4714-0388>  
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil  
E-mail: [josi-agronomia@hotmail.com](mailto:josi-agronomia@hotmail.com)

### Cássia Michele Cabral

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4730-4509>  
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil  
E-mail: [mtchells@gmail.com](mailto:mtchells@gmail.com)

### Resumo

A competição com plantas daninhas por água ou luz pode afetar parâmetros fisiológicos das culturas de interesse. A planta de fisalis apresenta um alto valor agregado, podendo ser utilizada desde sua raiz até o fruto propriamente dito. A raiz e as folhas são ricas em propriedades medicinais, e podem ser utilizadas no mercado farmacológico. O fornecimento de nutrientes é um dos fatores mais importantes a serem desenvolvidos para aumentar a produtividade de fisalis garantindo a qualidade almejada pelo mercado de consumo de seus frutos. O conhecimento das exigências e eficiências nutricionais de micronutrientes é relevante para o desenvolvimento da recomendação de adubação de fisalis. Objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito da deficiência de micronutrientes no desenvolvimento e no estado nutricional de plantas de fisalis. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com três repetições. Os tratamentos foram compostos por uma solução nutritiva completa contendo macro e micronutrientes e por soluções com omissão de um micronutriente por vez com uma planta por vaso. As avaliações das características fisiológicas foram realizadas aos 35 dias após a aplicação dos tratamentos e as avaliações de desenvolvimento e eficiência nutricional foram realizadas aos 150 dias. As características fisiológicas das plantas de fisalis, como a taxa fotossintética, a condutância estomática, o carbono consumido, o carbono interno e a eficiência no uso da água, foram limitadas com a subtração de micronutrientes. Os micronutrientes que mais afetaram o cultivo de fisalis foram B, Fe e Zn. A ordem de restrição do desenvolvimento ocasionada pela omissão de micronutrientes foi: Fe>B>Zn>Mn>Cu.

**Palavras-chave:** *Physalis*; Omissão de micronutrientes; Nutrição mineral; Frutíferas.

### Abstract

The plant *Physalis peruviana* L. presents a high added value, being able to be used from its root to the fruit itself. The roots and leaves are rich in medicinal properties and can be used in the pharmacological market. The supply of nutrients is one of the most important factors to be developed to increase the productivity of fisalis guaranteeing the quality desired by the market of consumption of its fruits. Knowledge of micronutrient requirements and nutritional efficiencies is relevant to the development of fisalis fertilization recommendation. The objective of this work was to evaluate the effect of micronutrients deficiencies on development and on nutritional status of fisalis plants. The experimental design was in randomized blocks, with three replicates. The treatments were composed of a complete nutrient solution containing macro and micronutrients and solutions with omission of one micronutrient with one plant per pot. The evaluations of the physiological characteristics were carried out at 35 days after the application of the treatments, and development and nutritional efficiency evaluations were performed at 150 days. Physiological characteristics of fisalis plants, such as photosynthetic rate, stomatal conductance, carbon consumption, internal carbon and water use efficiency, were limited with micronutrient subtraction. The micronutrients that most affected

the cultivation of *Physalis* were B, Fe and Zn. The order of restriction of the development caused by the omission of micronutrients was: Fe > B > Zn > Mn > Cu.

**Keywords:** *Physalis*; Omission of micronutrients; Mineral nutrition; Fruit.

### Resumen

La competencia con malezas por agua o luz puede afectar los parámetros fisiológicos de los cultivos de interés. De La planta *physalis* tiene un alto valor añadido, pudiendo ser aprovechada desde su raíz hasta el propio fruto. La raíz y las hojas son ricas en propiedades medicinales y se pueden utilizar en el mercado farmacológico. El suministro de nutrientes es uno de los factores más importantes a desarrollar para incrementar la productividad de la *physalis*, garantizando la calidad deseada por el mercado consumidor de sus frutos. El conocimiento de los requerimientos nutricionales y la eficiencia de los micronutrientes es relevante para el desarrollo de la recomendación de fertilización con *physalis*. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la deficiencia de micronutrientes en el desarrollo y estado nutricional de plantas de *physalis*. El diseño experimental utilizado fue en bloques al azar, con tres repeticiones. Los tratamientos consistieron en una solución nutritiva completa que contenía macro y micronutrientes y soluciones con omisión de un micronutriente a la vez con una planta por maceta. Las evaluaciones de las características fisiológicas se realizaron a los 35 días de la aplicación de los tratamientos y las evaluaciones de desarrollo y eficiencia nutricional a los 150 días. Las características fisiológicas de las plantas de *physalis*, como la tasa fotosintética, la conductancia estomática, el carbono consumido, el carbono interno y la eficiencia en el uso del agua, se limitaron con la sustracción de micronutrientes. Los micronutrientes que más afectaron el cultivo de *physalis* fueron B, Fe y Zn. El orden de restricción del desarrollo causado por la omisión de micronutrientes fue: Fe > B > Zn > Mn > Cu.

**Palabras clave:** *Physalis*; Omisión de micronutrientes; Nutrición mineral; Frutales.

## 1. Introdução

A *Physalis peruviana* L. é uma planta perene, com hábito de crescimento indeterminado (Muniz et al., 2014). O fruto da *Physalis* é rico em antioxidantes, em ácidos graxos essenciais, fitoesteróis, carotenos, vitaminas A, B, C, E, K<sub>1</sub>, além de ferro, zinco, fósforo e cálcio, importantes para melhoria da qualidade de vida (Ramadan, 2011). Suas raízes e as folhas apresentam propriedades medicinais e são utilizadas no mercado farmacológico. *Physalis* é muito utilizada na medicina tradicional como anti-cancerígeno, anti-bacteriano, anti-pirético, diurético, para o tratamento de doenças como, malária, asma, dermatite, hepatite e reumatismo. Na Amazônia a população utiliza os frutos, as folhas e raízes no combate à diabetes, ao reumatismo, as doenças de pele, de bexiga, rins e fígado.

O aumento da demanda de mercado por *Physalis* está associado às suas características nutracêuticas e medicinais (Luchese et al., 2015), sendo incorporada ao cultivo comercial no Brasil, com potencialidades de ser exportador desse fruto (Lima et al., 2010). Os frutos apresentam coloração atrativa, sabor agradável, e versatilidade de utilização (Lopez et al., 2013), sendo mais conhecido no norte e nordeste, e pouco divulgado nas regiões sul e sudeste (Fischer et al., 2014). Com a crescente demanda, os frutos de *Physalis* têm sido importados da Colômbia a preços elevados, pois a produção brasileira ainda é pequena (Rodrigues et al., 2009).

No Brasil o cultivo de *Physalis* tem ocorrido em diferentes condições edafoclimáticas, porém, o excesso de umidade, a seca, o calor e o frio, podem ocasionar danos no crescimento e desenvolvimento das plantas, e, conseqüentemente, diminuir a produtividade e qualidade dos frutos (Muniz et al. 2011). *Physalis* é uma planta exigente em nutrientes, embora seja considerada uma planta rústica. Estudos sobre sua exigência nutricional ainda são incipientes nas condições edafoclimáticas do Brasil, apresentando poucos parâmetros para recomendação de fertilizantes e exigência nutricional dessa espécie e, geralmente, é utilizado os resultados de pesquisa de outras regiões, ou baseada na recomendação para o cultivo do tomateiro (Ianciekiczl et al., 2013).

O suprimento adequado de nutrientes contribui não só para a produtividade, mas também para melhorar o valor nutricional da cultura (Aular; Natale, 2013). A avaliação do estado nutricional, associado a avaliações fisiológicas permite entendimento das exigências nutricionais e dos processos metabólicos, a fim de que as plantas possam expressar todo o potencial produtivo (Cunha et al., 2009).

Diante do exposto, objetivou-se com esse estudo avaliar o efeito das deficiências de micronutrientes no desenvolvimento e no estado nutricional de plantas de físalis.

## 2. Metodologia

O experimento foi conduzido em casa de vegetação localizada no Campus JK, no Departamento de Agronomia da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), Diamantina, MG, de agosto a dezembro de 2014. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, considerando o tamanho da muda antes do transplântio, com três repetições. Os tratamentos foram compostos por uma solução nutritiva completa com macro e micronutrientes e por soluções com omissão de um micronutriente por vez (-B, -Cu, -Fe, -Mn, e -Zn), em um total de 18 parcelas experimentais com uma planta por vaso.

A solução nutritiva utilizada foi à proposta por Clark (1975) e os nutrientes fornecidos foram oriundos de reagentes puros. A solução completa apresentava a seguinte composição química de macronutrientes em mg L<sup>-1</sup>: 114,2 N; 2,2 P; 70,2 K; 104,4 Ca; 14,4 Mg; 16 S, e de micronutrientes em µg L: 209 B; 32 Cu; 2128 Fe; 385 Mn e 131 Zn. Nos tratamentos com omissão dos micronutrientes, foi utilizada a mesma solução apresentando todos os nutrientes, exceto o micronutriente sob omissão.

As sementes foram extraídas manualmente e semeadas após uma semana em bandejas de isopor de 128 células, utilizando substrato comercial. As bandejas permaneceram em casa de vegetação, com irrigação por microaspersão duas vezes ao dia. Um mês após a emergência, as plantas foram retiradas das bandejas, separadas do substrato e as raízes foram lavadas. As mudas foram transferidas para vasos hidropônicos de cor preta com 3,0 L de capacidade, sendo adicionados 2,5 L de solução nutritiva.

Utilizou-se de soluções com forças iônicas de 25, 50, 75 e 100%, onde as plântulas permaneceram por uma semana em cada concentração, em sistema de aeração artificial contínuo. Nesse período de adaptação, na primeira e segunda semana as soluções nutritivas continham somente macronutrientes, na terceira e quarta semana continham 50 e 75% respectivamente de macronutrientes e 10 % da força iônica dos micronutrientes, e na quinta semana 100 % da força iônica de todos os nutrientes. Na sexta semana foram iniciados os tratamentos com solução completa e omissões dos nutrientes. As soluções com os diversos tratamentos foram trocadas semanalmente, durante os 150 dias de condução do experimento após aplicação dos tratamentos. O pH da solução nutritiva foi mantido em torno de 6,0 ± 0,1; aplicando-se HCl 0,1 mol L<sup>-1</sup> ou NaOH 1,0 mol L<sup>-1</sup> com controle diário, quando necessário, através de peagâmetro portátil.

As avaliações das características fisiológicas foram realizadas aos 35 dias após a aplicação dos tratamentos com solução nutritiva completa e omissões dos micronutrientes, mais especificamente na fase de pré-floração das plantas, nessa fase os sintomas de deficiência de nutrientes eram pouco evidentes.

As medições foram realizadas em todas as plantas, na quarta folha completamente expandida, contando da gema apical das plantas. Foi utilizado um analisador de gases no infravermelho (IRGA), marca ADC, modelo LCA 4 (Analytical Development Co. Ltd, Hoddesdon, UK) com luz artificial acoplada, correspondente a 1200 µmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, em casa de vegetação aberta, permitindo livre circulação do ar. Nessa ocasião, foram mensuradas as seguintes características fisiológicas: a concentração de CO<sub>2</sub> subestomática Ci (µmol mol<sup>-1</sup>) e a taxa fotossintética A (µmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), a temperatura da folha TF (°C), a condutância estomática de vapores de água Gs (mol m<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup>), a taxa de transpiração E (mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) e a eficiência no uso da água EUA (µmol CO<sub>2</sub> mmol<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>O = fotossíntese/transpiração) e a relação carbono interno/carbono atmosférico Ci/Ca. Cada bloco foi avaliado em um dia, entre 8 e 10 horas da manhã, em dia de céu limpo e com iluminação natural, de forma a manter as condições ambientais homogêneas durante a avaliação de cada bloco.

Aos 150 dias após o início do período experimental, as plantas foram coletadas e separadas em raízes, caule, folhas e frutos. Os frutos foram colhidos durante todo o período experimental. Em seguida, todo o material vegetal foi lavado em água destilada, identificado, acondicionado em sacos de papel e seco em estufa com circulação de ar à temperatura de 65 °C, até apresentarem massa constante. Após secagem o material foi pesado em balança analítica para obtenção da massa da matéria seca do caule, das folhas, dos frutos, da parte aérea (caule, folhas e frutos), das raízes e total (parte aérea e raízes). Posteriormente, o material foi triturado e submetido à análise química para determinar os teores de macronutrientes de acordo com metodologia descrita por Silva (2009).

Para calcular o crescimento relativo (CR) de massa de matéria seca de frutos e total das plantas de *fisalis* foi utilizada a seguinte fórmula:  $CR = (\text{Tratamento com nutriente omitido} / \text{Tratamento completo}) \times 100$ . A finalidade deste procedimento é comparar a relação da massa seca total no tratamento com aplicação do micronutriente em relação ao tratamento onde não se aplicou o micronutriente. A distribuição percentual de massa seca de raízes, de caule, folhas e frutos de *fisalis* foi realizada em função dos tratamentos de solução completa e omissão de micronutrientes.

Considerando o conteúdo dos micronutrientes na planta e a massa da matéria seca dos diferentes órgãos foi calculada os índices: eficiência de absorção = conteúdo total do nutriente na planta/matéria seca de raízes, conforme Swiader et al. (1994); eficiência de transporte = (conteúdo do nutriente na parte aérea/conteúdo total do nutriente na planta)  $\times 100$ , de acordo com Li et al. (1991) e eficiência de utilização = (matéria seca total produzida)<sup>2</sup>/conteúdo total do nutriente na planta, segundo Siddqi e Glass (1981).

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Scott & Knott, ambos a 5% de significância.

### 3. Resultados e Discussão

#### 3.1 Características fisiológicas de *fisalis*

A taxa fotossintética (A) variou entre 9,1 e 17,2  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , com o maior nível observado no tratamento com suprimento adequado de nutrientes e na omissão de Mn (Tabela 1). Apesar do micronutriente Mn ser considerado essencial para o desenvolvimento das plantas (Kopittke et al., 2011), atuando como cofator de diversas enzimas, constituinte da enzima envolvida na fotólise da água (Peiter et al., 2007) é provável que a reserva de Mn da planta adquirida até na fase de adaptação tenha sido suficiente para manutenção e suprimento nos processos fotossintéticos e metabólicos.

No cultivo com a omissão de Cu as plantas de *fisalis* apresentaram valores intermediários de taxa fotossintética (Tabela 1). A taxa fotossintética na omissão de Fe, Zn e B apresentaram os menores níveis (Tabela 1). A deficiência de Fe prejudica a biossíntese da clorofila e o desenvolvimento dos cloroplastos (Shi; Sun). O Fe apresenta função no mecanismo fotossintético das plantas e nos complexos de algumas proteínas, como a ferritina (Briat et al., 2015). O Zn exerce função estrutural ou catalítica em vários processos enzimáticos, relacionados com a superóxido dismutase, desidrogenase e protease (Cherif et al., 2011). O Zn está relacionado ao metabolismo de carboidratos, a ausência de Zn nas plantas pode interferir negativamente nos teores adequados de clorofila (Cherif et al., 2011; Taiz et al., 2017). A deficiência de B ocasiona muitas alterações no metabolismo da planta, prejudicando o metabolismo e o transporte de carboidratos (Broadley et al., 2012). A ausência de B afeta a absorção de CO<sub>2</sub> (Pinho et al., 2010), ocasionando diminuição na taxa fotossintética (Bogiani et al., 2013; Landi et al., 2013; Mukhopadhyay et al., 2013) por causar danos as membranas das células guardas dos estômatos (Broadley et al., 2012). Ocorre alterações no conteúdo de clorofilas e carotenoides em plantas deficientes em B (Mukhopadhyay et al., 2013).

**Tabela 1.** Taxa fotossintética (A), condutância estomática (Gs), carbono interno (Ci), taxa transpiratória (E), carbono consumido ( $\Delta\text{CO}_2$ ), temperatura da folha (TF), eficiência no uso da água (EUA) e relação carbono interno/carbono atmosférico (Ci/Ca) de *fisalis* cultivadas com solução completa e com omissão de micronutrientes.

Tratamento	A	Gs	Ci	E	$\Delta\text{CO}_2$	TF	EUA	Ci/Ca								
Completa	17,2	a	0,61	a	285,6	b	3,9	b	114,4	a	23,7	a	4,5	a	0,89	a
Omissão B	10,9	c	0,45	b	333,2	a	3,9	b	66,8	c	22,7	a	2,8	c	0,86	a
Omissão Cu	12,9	b	0,45	b	320,4	a	4,1	b	79,6	b	23,1	a	3,2	b	0,84	a
Omissão Fe	9,1	c	0,41	b	342,1	a	3,6	b	57,9	c	22,6	a	2,4	c	0,88	a
Omissão Mn	15,8	a	0,55	b	314,7	a	4,6	a	85,3	b	23,1	a	3,5	b	0,83	a
Omissão Zn	9,1	c	0,47	b	341,1	a	4,4	a	58,9	c	23,4	a	2,2	c	0,88	a
Cv (%)	37,9		17,8		7,9		10,4		26,4		5,8		24,3		6,7	

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott & Knott a 5 %. Unidades: A:  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Gs:  $\text{mol m}^{-1} \text{s}^{-1}$ . Ci:  $\mu\text{mol mol}^{-1}$ . E:  $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .  $\Delta\text{CO}_2$ :  $\mu\text{mol mol}^{-1}$ . TF: °C. EUA:  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol}^{-1} \text{H}_2\text{O}$ . Ci/Ca:  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} / (\mu\text{mol mol}^{-1})^{-1}$ .  
Fonte: Autores.

*Fisalis* cultivadas com a omissão de micronutrientes apresentaram redução na condutância estomática (Gs) em relação ao cultivo com fornecimento adequado de nutrientes (Tabela 1). A Gs está relacionada com a abertura dos estômatos, com a resistência associada à difusão de  $\text{CO}_2$  pela abertura estomática (Silveira et al., 2013). Os valores de Gs dos tratamentos com omissão de nutrientes não apresentaram diferença significativa entre eles. O suprimento nutricional possui estreita relação com variações nas trocas gasosas (Taiz et al., 2017).

Com a omissão de micronutrientes as plantas de *fisalis* apresentaram maiores níveis de carbono interno (Ci) em relação ao tratamento com suprimento adequado (Tabela 1). O Ci reflete a disponibilidade de substrato para a fotossíntese e pode indicar se o fechamento estomático está restringindo a atividade fotossintética (Melo et al., 2008), considerando-se que o Ci é inversamente proporcional à A (Concenço et al., 2008).

A maior taxa transpiratória (E) foi observada em plantas cultivadas na omissão de Mn e de Zn (Tabela 1). O Mn está envolvido em muitos processos fisiológicos nos vegetais, como a fotossíntese, a respiração, na síntese de aminoácidos, ácido indol-acético e de compostos secundários (Führs et al., 2012; Millaleo et al., 2013), sua deficiência pode ser um fator limitante para a produção vegetal. O Zn participa da síntese de proteínas, do metabolismo de carboidratos, da síntese de triptofano e da síntese do ácido indol-acético (Henriques et al., 2012).

A taxa de transpiração de *fisalis* cultivada com suprimento adequado de nutrientes, com a omissão de B, Cu e Fe foi inferior aos valores observados nas plantas cultivadas com a omissão de Mn e Zn (Tabela 1). O declínio na taxa de transpiração está associado ao fechamento dos estômatos, sendo necessária a transpiração ao crescimento e desenvolvimento do vegetal, devido à absorção de  $\text{CO}_2$ , além de atuar como componente de resfriamento, reduzindo o calor absorvido pela radiação solar (Pinto et al., 2014).

A *fisalis* apresentou diferença significativa nos valores de carbono consumido ( $\Delta\text{CO}_2$ ) em função das soluções de cultivo (Tabela 1). O cultivo onde *fisalis* recebeu nutrição completa apresentou o maior valor de  $\Delta\text{CO}_2$  ( $114,4 \mu\text{mol mol}^{-1}$ ). O metabolismo vegetal em maior atividade apresenta maior  $\Delta\text{CO}_2$  por unidade de tempo (Galon et al., 2010). Ressaltando que as variáveis  $\Delta\text{CO}_2$  e Ci têm relação inversa, assim, quanto maior o  $\Delta\text{CO}_2$ , maior o consumo de  $\text{CO}_2$  usado na fotossíntese (Faria et al., 2014), o que reduz o Ci. Os valores intermediários de  $\Delta\text{CO}_2$  foram observados na ausência de Mn e Cu. Os micronutrientes B, Zn e Fe apresentaram os menores níveis de  $\Delta\text{CO}_2$ . A deficiência de B ocasiona a diminuição da densidade de estômatos na superfície foliar e afeta o funcionamento dos mesmos (Bogiani et al., 2013) com alterações no metabolismo e no transporte de carboidratos (Broadley et al., 2012). Deficiência de B ocasiona alterações na fixação de carbono, ocasionando prejuízos na atividade da enzima Rubisco (Chen et al., 2014) e acúmulo de amido nos cloroplastos, afetando negativamente a estrutura e o funcionamento dos mesmos (Wimmer & Eichert, 2013). O Zn participa da estrutura de grupos enzimáticos, como a enzima

anidrase carbônica, importante no metabolismo do carbono (Hänsch & Mendel, 2009). O Fe é um componente enzimático, participando de processos de oxirredução, da respiração, e ainda atuando em processos fotossintéticos como componente da ferredoxina (Kobayashi & Nashizawa, 2012).

A temperatura foliar (TF) dos tratamentos analisados não apresentou diferença significativa (Tabela 1). A diferença entre o maior e o menor valor de TF foi de 0,8 °C. O metabolismo vegetal proporciona incrementos na TF, sendo geralmente superior à temperatura do ar ao seu redor, sendo dependente da taxa de transpiração (Aspiazú et al., 2010, Ferreira et al., 2011). Considerando-se que o aumento do metabolismo pode ser aferido indiretamente em função do gradiente entre a TF e a temperatura do ar, o metabolismo das plantas não foi afetado seriamente para ocasionar alteração na TF com a omissão de micronutrientes.

As plantas apresentaram diferença significativa na eficiência no uso da água (EUA), apresentando o maior valor no cultivo com suprimento adequado de nutrientes (Tabela 1). A quantidade de CO<sub>2</sub> fixado para a produção de biomassa em função da quantidade de água transpirada representa a EUA (Ferreira et al., 2011). No tratamento completo os valores de massa de matéria seca foram maiores que os observados nas plantas com a omissão de micronutrientes (Tabela 2). Os valores intermediários de EUA foram observados nos cultivos com a omissão de Mn e Cu. Com a omissão de B, Fe e Zn os valores de EUA foram menores. O B é considerado um micronutriente essencial para as plantas com funções relacionadas ao crescimento meristemático (Broadley et al., 2012; Wimmer & Eichert, 2013), à biossíntese da parede celular e ao funcionamento da membrana celular (Kobayashi et al., 2011), ao metabolismo de auxinas (Ahmad et al., 2009) e ao metabolismo de carboidrato (Bogiani et al., 2013). O Fe participa de processos metabólicos importantes, como fotossíntese, respiração, assimilação do N e S, e balanço hormonal (Prado; Vara, 2011). O Zn é um componente estrutural de enzimas importantes, como a anidrase carbônica, a superóxido dismutase Cu-Zn, a fosfatase alcalina e fosfolipases e atua na modulação de atividades enzimáticas, nas desidrogenases, aldolases, isomerases e transfosforilases (Broadley et al., 2007).

Em relação ao carbono interno/carbono atmosférico (Ci/Ca) as plantas não apresentaram diferença significativa nos tratamentos analisados (Tabela 1). A relação Ci/Ca está relacionada com a concentração de CO<sub>2</sub> na câmara subestomática e a concentração de CO<sub>2</sub> do ambiente externo (Franco et al., 2014). Considerando-se, que o consumo de CO<sub>2</sub> pela planta amplia as diferenças de concentração entre o interior da folha e o ambiente externo, a entrada de CO<sub>2</sub> na folha pela abertura estomática ocorrerá em função do maior gradiente de concentração.

## **3.2 Análise de desenvolvimento**

### **3.2.1 Boro**

Na omissão de B ocorreu redução significativa na produção de massa de matéria seca em todas as partes avaliadas, afetando principalmente a massa de matéria seca de frutos e folhas (Tabela 2). O crescimento relativo total com a omissão de B apresentou redução de 48% comparando-se ao tratamento com solução completa (Figura 1). A deficiência de B inibe ou paralisa o crescimento dos tecidos meristemáticos das folhas e raízes, por prejudicar a divisão celular, a formação da parede celular e de frutos (Wimmer & Eichert, 2013; Ahmad et al., 2009).

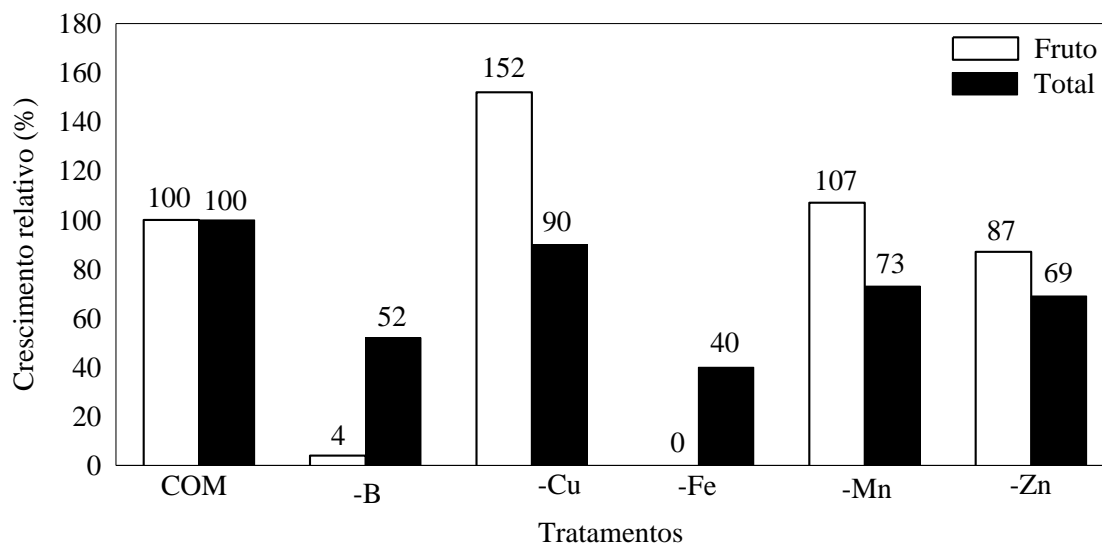


**Tabela 2.** Produção de massa de matéria seca de folhas, do caule, da parte aérea, dos frutos, das raízes e total de físalis com solução completa e com omissão de micronutrientes.

Tratamento	Produção de massa seca						Total					
	Folha	Caule	Parte aérea	Frutos	Raízes	Total						
	..... g vaso <sup>-1</sup> .....											
Completa	11,6	a	8,5	a	20,2	a	1,6	b	4,6	a	26,4	a
Omissão B	8,2	c	4,1	d	12,2	c	0,1	c	2,7	b	15,0	c
Omissão Cu	9,2	b	7,9	a	17,2	b	2,5	a	2,4	b	22,0	a
Omissão Fe	4,8	d	4,8	c	9,6	d	0,0	c	2,2	b	11,8	c
Omissão Mn	7,2	c	7,1	b	14,4	c	1,7	b	2,3	b	18,4	b
Omissão Zn	7,6	c	5,4	c	12,9	c	1,4	b	3,2	b	17,6	b
CV (%)	25,4		11,3		15,1		25,4		26,5		19,8	

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott & Knott a 5%. Fonte: Autores.

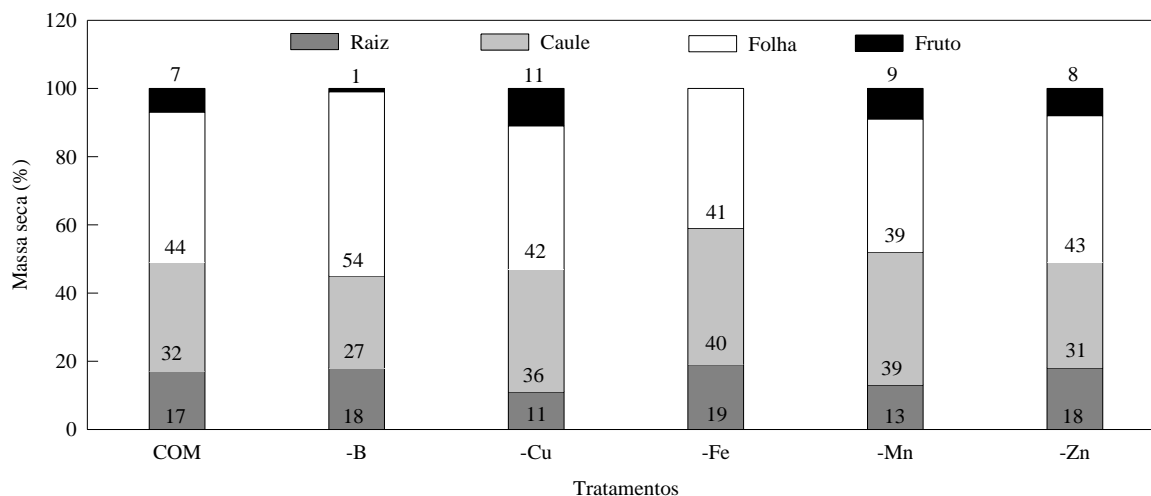
**Figura 1.** Crescimento relativo em massa de matéria seca de frutos e total de físalis submetidas a diferentes tratamentos de omissão de micronutrientes, como segue: COM (solução completa); -B (omissão de B); -Cu (omissão de Cu); -Fe (omissão de Fe); -Mn (omissão de Mn) e -Zn (omissão de Zn).



Fonte: Autores.

Em relação à massa de matéria seca de raízes de plantas submetidas à omissão de B foi observado aumento de 1% em relação ao cultivo com suprimento adequado (Figura 2). Com a omissão de B pode ocorrer à inibição do crescimento radicular, o que provavelmente está associado à função na composição da parede celular e no processo de divisão celular (Liu et al., 2014). A omissão de B da solução de cultivo de físalis reduziu a massa de matéria seca de caule em 5%, de frutos em 6%, enquanto para folhas obteve aumento de 10% (Figura 2). A ausência de B afeta diferentes processos, por apresentar ação no transporte de carboidratos e na formação da parede celular, sua ausência ocasiona desestruturação na parede celular e com comprometimento da integridade da membrana celular (Kobayashi et al., 2011).

**Figura 2.** Percentual de massa de matéria seca dos frutos, folhas, caule e raízes de *fisalis* submetidas a diferentes tratamentos de omissão de micronutrientes, como segue: COM (solução completa); -B (omissão de B); -Cu (omissão de Cu); -Fe (omissão de Fe); -Mn (omissão de Mn) e -Zn (omissão de Zn).



Fonte: Autores.

*Fisalis* apresentou redução de 96% no crescimento relativo de frutos no cultivo com deficiência de B (Figura 1). A deficiência de B ocasiona alterações na divisão e alongação celular (Ozturk et al., 2010). Resultando em rápida inibição no crescimento das plantas, pois o mesmo atua no crescimento meristemático (Marschner, 2012). O B exerce função importante no florescimento, no processo de frutificação, na atividade de hormônios, no crescimento do tubo polínico (Ozturk et al., 2010).

Quando o B foi suprimido da solução a maior concentração deste nutriente ocorreu nas folhas, enquanto que a menor concentração foi observada nos frutos (Tabela 3). O B possui a importante função de estimular o desenvolvimento do grão de pólen e o crescimento do tubo polínico, influenciando no processo de frutificação das plantas (Lee et al., 2009). A concentração de B no caule e nas raízes de plantas cultivadas com omissão deste micronutriente não apresentou diferença significativa entre si. Na deficiência de B a baixa redistribuição deste micronutriente, que acontece na maioria das espécies, pode favorecer o crescimento anormal dos pontos de crescimento apical (Ozturk et al., 2010).

O maior teor de B no cultivo com suprimento nutricional completo ocorreu nas folhas (Tabela 3). Os frutos de *fisalis* cultivados em solução completa apresentaram valores intermediários de B. Nas raízes e no caule foi observado o menor teor desse micronutriente em plantas cultivadas em solução completa. O B apresenta baixa redistribuição na maioria das espécies e geralmente a parte aérea das plantas apresenta maior teor de B do que as raízes (Taiz et al., 2017).



**Tabela 3.** Teor dos micronutrientes em plantas de *fisalis* cultivadas com solução completa e com omissão de micronutrientes em diferentes partes da planta.

Parte da planta	Completa	Omissão
<b>Teor de B (mg kg<sup>-1</sup>) - CV = 10,07 %</b>		
Frutos	16,60Ab	1,23Bc
Folhas	38,69Aa	5,64Ba
Caule	7,03Ac	4,10Bb
Raízes	6,76Ac	3,92Bb
<b>Teor de Cu (mg kg<sup>-1</sup>) - CV = 14,72 %</b>		
Frutos	9,17Aa	8,34Ba
Folhas	6,95Ab	3,42Bb
Caule	6,42Ab	3,42Bb
Raízes	4,56Ac	3,42Bb
<b>Teor de Fe (mg kg<sup>-1</sup>) - CV = 17,65 %</b>		
Frutos	784,41Aa	-
Folhas	178,03Ab	86,51Ba
Caule	66,99Ad	24,36Bb
Raízes	115,70Ac	60,90Ba
<b>Teor de Mn (mg kg<sup>-1</sup>) - CV = 12,65 %</b>		
Frutos	98,62Aa	44,30Bb
Folhas	63,69Ac	16,25Bc
Caule	50,53Ad	10,83Bc
Raízes	81,21Ab	64,97Ba
<b>Teor de Zn (mg kg<sup>-1</sup>) - CV = 14,91 %</b>		
Frutos	55,32Aa	29,31Ba
Folhas	31,87Ab	14,37Bb
Caule	9,00Ad	6,00Bc
Raízes	21,00Ac	15,00Bb

Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem pelo teste de Scott & Knott a 5 %.  
Fonte: Autores.

Em *fisalis* cultivadas com a omissão de B as folhas mais jovens apresentaram manchas cloróticas, com posterior enrugamento e alteração na arquitetura. O B está relacionado a diversas funções, como, ao metabolismo e transporte de carboidratos, a síntese da parede celular e estabilidade das membranas, ao metabolismo de RNA, ao metabolismo do ácido indol-acético e de fenóis (Marschner, 2012).

### 3.2.2 Cobre

As plantas de *fisalis* submetidas à omissão de Cu apresentaram redução na produção de massa seca da parte aérea, de folha e de raízes (Tabela 2). No cultivo com omissão de Cu a produção de massa seca total e de caule não apresentou diferença significativa em relação ao tratamento completo (Tabela 2). É um importante componente estrutural de enzimas e proteínas envolvidas nas reações de transferência de elétrons, como a enzima mitocondrial citocromo-oxidase e a proteína plastocianina dos cloroplastos (Hooda, 2010).

A redução no crescimento relativo com a omissão de Cu foi de 10%, enquanto o crescimento relativo de frutos apresentou aumento de 52% comparando-se as plantas do cultivo com solução completa (Figura 1). Possivelmente *fisalis* apresenta baixa exigência pelo micronutriente Cu. Veigas et al. (2013) não observaram sintomas de deficiência de Cu em pimenta-longa, possivelmente decorrente da baixa exigência de Cu pela cultura.

*Fisalis* cultivada com omissão de Cu apresentou redução de 6% na percentagem de massa de matéria seca de raízes (Figura 2). A deficiência de Cu proporcionou aumento de 4% na massa seca de caule das plantas de *fisalis*, com decréscimo de 2% na produção de massa seca de folhas de *fisalis* com a omissão de Cu (Figura 2). O Cu é constituinte de várias enzimas, como superóxido dismutase, citocromo oxidase, lacases, plastocianinas e polifenol oxidase, atuando, em nível molecular, na

sinalização da transcrição, na fosforilação oxidativa e na mobilização de Fe. O Cu atua como elemento estrutural de várias proteínas, envolvidas na cadeia transportadora de elétrons na mitocôndria e nos cloroplastos (Yruela, 2009). Quando o Cu foi omitido da solução de cultivo foi observado aumento de 4% na massa seca de frutos de *fisalis* (Figura 2). O Cu é importante no processo de respiração, como catalisador em processos de oxidação e influencia a permeabilidade dos vasos do xilema à água (Chepote et al., 2013).

No cultivo com a omissão de Cu as plantas apresentaram maior teor de Cu nos frutos (Tabela 3). A concentração de Cu nas folhas, caule e raízes de *fisalis* submetidas ao cultivo com omissão deste nutriente não apresentaram diferença significativa em seu teor (Tabela 3). Quando cultivadas em solução com suprimento adequado de nutrientes as plantas apresentaram maiores teores de Cu nos frutos. O caule e as folhas de *fisalis* cultivadas em solução completa apresentaram teores de Cu semelhantes, não apresentando diferença significativa. No cultivo com solução completa o menor teor de Cu ocorreu na raiz (Tabela 3). O Cu é absorvido em pequenas quantidades, sendo considerado um elemento relativamente móvel em plantas bem nutridas, podendo ser translocado facilmente (Floss, 2011; Marschner, 2012).

*Fisalis* cultivada com a omissão de Cu não apresentou sintomas causados pela deficiência de Cu, possivelmente a quantidade de Cu fornecida durante a fase de adaptação foi suficiente para o crescimento e desenvolvimento das plantas durante a fase inicial. O Cu é considerado um elemento móvel na planta, absorvido em pequenas quantidades (YRUELA, 2013). Mesmo sendo um elemento essencial para as plantas, a quantidade exigida de Cu por *fisalis* é pequena.

### 3.2.3 Ferro

A produção de massa de matéria seca nas plantas cultivadas com a omissão de Fe apresentou redução nas variáveis analisadas em relação ao cultivo contendo todos os nutrientes (Tabela 2). A deficiência de Fe afetou intensamente a produção de frutos, não sendo possível atingir o estágio de florescimento (Tabela 2). Moschini et al. (2017) relata que o Fe foi o micronutriente que mais limitou o crescimento de *fisalis* em cultivo utilizando solução de Hoagland e Arnon. O suprimento insuficiente de Fe ocasiona conseqüentes limitações na produtividade (Bessa et al., 2013). O Fe é um micronutriente que apresenta pouca mobilidade no floema e muitos dos sintomas de deficiência desse micronutriente ocorrem pela baixa taxa de translocação (Chen et al., 2014).

O crescimento relativo de *fisalis* submetida à omissão de Fe foi reduzido em 60% (Figura 1). O Fe desempenha função importante no crescimento e desenvolvimento vegetal, participando da síntese de clorofila, da respiração, e de reações redox (Chen et al., 2014). A deficiência de Fe ocasiona modificações nos processos fisiológicos, como reação redox desequilibrada, respiração anormal das plantas e alteração na fotossíntese (Li; Wang; Yang, 2015).

As plantas cultivadas em solução nutritiva com a omissão de Fe apresentaram aumento de 2% na massa de matéria seca de raízes (Figura 2). A omissão de Fe aumentou 8% na massa de matéria seca do caule e redução de 3% nas folhas de *fisalis* (Figura 2). A deficiência acentuada de Fe provoca redução no tamanho e no número de folhas, resultando conseqüentemente em menor crescimento e desenvolvimento das plantas (Marschner, 2012). A exigência por micronutrientes catiônicos, especialmente Fe que participa na biossíntese de clorofila e da formação de ferridoxina, pode favorecer danos por estresse oxidativo, nos fotossistemas I e II nos cloroplastos (Schmidt et al., 2016).

A folha e as raízes das plantas cultivadas com a omissão de micronutrientes apresentaram maior teor de Fe (Tabela 3). O caule apresentou o menor teor de Fe com a omissão do micronutriente da solução de cultivo. Na planta em desenvolvimento e na fase adulta a redistribuição do Fe é muito baixa, por ser um elemento pouco móvel no floema (Chen et al., 2014). Geralmente, ocorre baixa redistribuição do Fe, que normalmente forma um quelato com o ácido cítrico, seu transporte acontece pela corrente transpiratória no exsudado do xilema (Miranda et al., 2010).

Fisalis cultivada com a omissão de Fe apresentaram clorose nas folhas novas com posterior branqueamento e morte do ápice. O Fe é um elemento que apresenta pouca mobilidade no floema (TAIZ et al., 2017), com função importante nos sistemas redox na fotossíntese, na redução do nitrito e do sulfato (Marschner, 2012).

### 3.2.4 Manganês

A omissão de Mn ocasionou redução da produção de massa de matéria seca de folhas, caule, raiz, parte aérea e total (Tabela 2). O Mn participa da biossíntese de lignina, atuando como cofator das enzimas responsáveis pelo transporte e adição de monolignóis para grupos fenólicos existentes na parede celular (Barros et al., 2015). A produção de massa de matéria seca de frutos no cultivo com omissão de Mn não apresentou diferença significativa em relação às plantas do tratamento completo (Tabela 2).

A omissão de Mn reduziu o crescimento relativo total de fisalis em 27% (Figura 1). A deficiência de Mn afeta a fotossíntese e diminui o nível de carboidratos solúveis (Kirkby; Römheld, 2007), afetando o crescimento e desenvolvimento das plantas (Socha; Guerinot, 2014). Uma deficiência mais severa de Mn ocasiona uma desorganização na estrutura do cloroplasto que não pode ser revertida (Veígas et al., 2013). Além disso, o Mn é cofator enzimático da enzima málica, isocitrato desidrogenase e malato desidrogenase (Marschner, 2012) e apresenta funções na metabolização de reservas (Werner; Witte, 2011). Fisalis quando cultivada com a omissão de Mn apresentou aumento de 7% no crescimento relativo de frutos (Figura 1). O Mn é um micronutriente importante nos processos de respiração e do metabolismo do N, como ativador de enzimas descarboxilases e hidrolases (Chepote et al., 2013).

O cultivo com a omissão de Mn apresentou redução de 4% na percentagem de massa seca de raízes (Figura 2). Assim, a deficiência do Mn, provoca reduções nas concentrações de lignina, principalmente nas raízes, ocasionando menor produção de biomassa, redução no crescimento e desenvolvimento da planta (Barros et al., 2015). A percentagem de massa de matéria seca de caule apresentou aumento de 7% quando as plantas foram submetidas à omissão de Mn. Na omissão de Mn foi observada redução de 5% na percentagem de massa de matéria seca de folhas. Nos cloroplastos o processo de fotólise da água, ocorre por meio de enzimas que apresentam Mn, onde os elétrons liberados da água são transferidos para o fotossistema II (Taiz et al., 2017). Com a ausência de Mn pode ocorrer danos por estresse oxidativo nos fotossistemas I e II nos cloroplastos (Schmidt et al., 2016). Observou-se aumento de 2% na produção de massa seca de frutos de fisalis com a omissão de Mn.

O maior teor de Mn em plantas cultivadas na omissão deste micronutriente ocorreu nas raízes (Tabela 3). Nos frutos de fisalis cultivados com a omissão de Mn observaram-se teores intermediários de Mn. Com a omissão de Mn as folhas e o caule de fisalis obtiveram os menores teores de Mn, e não apresentaram diferença significativa entre as partes das plantas. O Mn é transportado até a parte aérea da planta pelo xilema, onde se concentra preferencialmente na folha (Taiz et al., 2017). A remobilização do Mn é dificultada pela sua baixa mobilidade no floema (Loneragan, 2012). Mesmo apresentando baixa mobilidade no floema (Marschner, 2012), o maior teor de Mn no cultivo com suprimento adequado ocorreu nos frutos. Enquanto o menor teor de Mn no tratamento completo foi observado no caule (Tabela 3).

A omissão de Mn do cultivo de fisalis ocasionou clorose internerval nas folhas mais novas, com o posterior desenvolvimento desses sintomas nas folhas mais velhas. A deficiência de Mn ocasiona desorganização do sistema lamelar dos cloroplastos que não pode ser revertida, ocasionando a clorose (Marschner, 2012).

### 3.2.5 Zinco

A deficiência de Zn contribuiu para uma menor produção de massa de matéria seca total, da parte aérea, de folha, de caule, raízes e frutos de plantas de fisalis (Tabela 2). O Zn atua na síntese do triptofano, o aminoácido precursor da auxina,

com a deficiência desse elemento ocorre menor síntese de ácido indol-acético (Kirkby; Römheld, 2007). Esse fitohormônio produzido no meristema apical da parte aérea e das raízes apresenta função no crescimento das plantas (Taiz et al., 2017).

O cultivo com a omissão de Zn reduziu o crescimento relativo total e o crescimento relativo de frutos em 31% e 13%, respectivamente (Figura 1). O Zn é necessário para a manutenção da integridade das membranas celulares e preservação da estrutura das macromoléculas, e ainda no transporte de íons através das membranas (Hafeez et al., 2013). Atuando como ativador enzimático, o Zn é responsável pela maturação e crescimento das plantas (Yadegari; Shakerian, 2014), e as alterações causadas por sua deficiência são evidentes, principalmente, nas regiões mais jovens das plantas (Vitti; Serrano, 2007).

A percentagem de massa de matéria seca de raízes e de frutos de plantas submetidas à omissão de Zn aumentou 1% em comparação ao tratamento com suprimento adequado de micronutrientes (Figura 2). A massa de matéria seca de folhas e de caule de *Fisalis* cultivadas com a omissão de Zn apresentou redução de 1% (Figura 2). Por ser um componente estrutural dos ribossomos e por manter a integridade estrutural, o Zn é fundamental na síntese proteica, além de atuar na ativação de enzimas do metabolismo do RNA e DNA (Marschner, 2012). Com a omissão de Zn, esses processos podem ter sido prejudicados, e consequentemente ter reduzido a produção de massa de matéria seca.

*Fisalis* cultivada em solução com omissão de Zn apresentou o maior teor desse elemento em seus frutos (Tabela 3). Quando o Zn foi suprimido da solução nutritiva o menor teor de Zn foi observado no caule (Tabela 3). O fornecimento adequado de nutrientes em *Fisalis* ocasionou maior teor de Zn nos frutos e menor no caule (Tabela 3). Os teores de Zn encontrados nas folhas e nas raízes foram intermediários e não apresentaram diferença significativa em relação as plantas cultivadas no tratamento completo. Em geral, é relatado que o Zn apresenta baixa redistribuição na planta (Dong et al., 2009), sendo alocado predominantemente nos cloroplastos e associado a várias atividades enzimáticas em todas as plantas (Yadegari; Shakerian, 2014).

As folhas mais novas de *Fisalis* cultivadas com omissão de Zn apresentaram clorose, com posterior desenvolvimento desse sintoma nas folhas mais velhas. A redistribuição de Zn para os tecidos em crescimento e de maior exigência metabólica é dificultada pela baixa mobilidade desse elemento no floema (Mascarenhas et al., 2013). A deficiência de Zn afeta a atividade enzimática, o desenvolvimento dos cloroplastos, o conteúdo de proteínas e ácidos nucleicos (Marschner, 2012).

As plantas cultivadas com suprimento adequado de nutrientes não apresentaram sintomas visuais de deficiência, indicando que a solução nutritiva e o pH utilizado foi adequado para o crescimento das plantas.

Com a omissão de micronutrientes as plantas acumularam diferentes quantidades de massa de matéria seca (Tabela 2) e apresentaram diferente distribuição no acúmulo de matéria seca nas diversas partes da planta (Figura 2).

As plantas cultivadas em solução com suprimento adequado de nutrientes apresentaram teores maiores de micronutrientes em relação às plantas cultivadas em solução com omissão de micronutrientes (Tabela 3).

As plantas cultivadas em solução nutritiva completa apresentaram maior absorção de Fe, seguido pelo Mn e pelo Zn (Tabela 4). O acúmulo total de micronutrientes no tratamento com suprimento adequado obedeceu a seguinte ordem decrescente Fe>Mn>Zn>B>Cu, refletindo as exigências nutricionais de *Fisalis*. Nas folhas de *Fisalis* foi observado maior acúmulo de micronutrientes, sendo o Fe o nutriente mais acumulado. O Fe e o Mn foram os micronutrientes que mais acumularam nos frutos de *Fisalis* cultivados em solução completa, enquanto o Cu apresentou menor acúmulo (Tabela 4). Os teores de nutrientes dependem de vários fatores, como a sua concentração na solução nutritiva, a época do plantio, a idade da planta, as condições climáticas, bem como, as interações ocorridas entre os nutrientes (Lima et al., 2011).

**Tabela 4.** Quantidade acumulada dos micronutrientes em plantas de *fishalis* cultivadas com solução completa em diferentes partes da planta.

Micronutriente	Raízes	Caule	Folhas	Frutos	Total	CV(%)
	..... $\mu\text{g planta}^{-1}$ .....					
B	31,95c	60,43b	456,81a	26,91c	576,10	25,78
Cu	17,21c	54,85b	80,27a	14,09c	166,41	13,91
Fe	452,77c	560,31c	1.853,02a	1.205,05b	4.071,15	19,75
Mn	329,71b	429,28b	674,94a	159,93c	1.593,85	20,56
Zn	88,72b	76,89b	352,29a	89,82b	607,72	24,32

Médias seguidas por letras iguais nas linhas não diferem pelo teste de Scott & Knott a 5 %. Fonte: Autores.

### 3.2.6 Eficiência nutricional

Nas plantas cultivadas em solução completa foi verificado maior taxa de absorção de nutrientes em relação às plantas cultivadas na omissão de micronutrientes (Tabela 5). Com o suprimento adequado de nutrientes as plantas foram mais eficientes na absorção de Fe, seguida pelo Mn (Tabela 5). O Fe intracelular encontra-se principalmente nas células fotossintetizantes (Briat; Curie; Gaymard, 2007), sendo encontrado nos plastídios a ferritina que está relacionada com o armazenamento de Fe (Briat; Dubos; Gaymard, 2015). O Mn atua na etapa fotoquímica da fotossíntese, na síntese e funcionamento dos cloroplastos, na síntese da clorofila e como cofator de muitas enzimas de regulação hormonal e síntese de compostos fenólicos (Zanão et al., 2010). A eficiência de absorção (AE) de Zn e B no cultivo com solução completa não apresentou diferença significativa (Tabela 5). O Cu apresentou menor taxa de absorção quando as plantas foram cultivadas com suprimento adequado de nutrientes.

Os micronutrientes Fe, Mn e Zn apresentaram as maiores taxas de absorção quando as plantas foram submetidas à omissão de micronutrientes (Tabela 5). O mecanismo de absorção de Fe pelas raízes característico das dicotiledôneas e monocotiledôneas (não gramíneas) ocorre por meio da extrusão de prótons realizada por uma  $\text{H}^+$  ATPase, localizada na epiderme da raiz, acidificando a rizosfera, aumentando a solubilidade e, conseqüentemente, a disponibilidade de Fe para as plantas (Jeong; Connolly, 2009). A forma de Fe preferencialmente absorvida pelas plantas é como cátion divalente (Broadley et al., 2012). Com a omissão de micronutrientes não houve diferença significativa na absorção de Cu e B, e apresentaram as menores taxas de EA. Diversos fatores influenciam a absorção de nutrientes, como os estádios de desenvolvimento da cultura, a eficiência das raízes e a disponibilidade de nutrientes (Xavier; Natale, 2017).

**Tabela 5.** Eficiência de absorção, de transporte e utilização de micronutrientes em *falalis* cultivadas com solução completa e com omissão de micronutrientes.

Micronutriente	Completa	Omissão	CV(%)
	Eficiência de absorção		
	..... mg nutriente g <sup>-1</sup> de massa seca raízes .....		
B	183,99Ac	27,38Bd	
Cu	60,18Ad	39,68Bd	
Fe	1637,64Aa	352,29Ba	17,91
Mn	587,88Ab	183,92Bb	
Zn	209,38Ac	71,08Bc	
	Eficiência de transporte		
	..... % .....		
B	95,44Aa	84,93Bb	
Cu	91,10Aa	91,12Aa	
Fe	90,36Aa	81,91Bb	4,53
Mn	82,06Ab	64,57Bc	
Zn	87,66Ab	78,93Bc	
	Eficiência de utilização		
	..... (massa seca) <sup>2</sup> g mg <sup>-1</sup> nutriente acumulado .....		
B	1,22Bb	3,18Ab	
Cu	4,22Aa	5,52Aa	
Fe	0,18Ad	0,21Ad	28,39
Mn	0,44Bc	0,82Ac	
Zn	1,15Ab	1,39Ac	

Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem pelo teste de Scott & Knott a 5 %.  
 Fonte: Autores.

Em relação à eficiência de transporte (ET) de micronutrientes as plantas cultivadas com suprimento adequado apresentaram maior eficiência, exceto para o Cu que no cultivo com omissão não apresentou diferença significativa em relação ao tratamento completo (Tabela 5). No cultivo com suprimento adequado de micronutrientes verificou-se maior ET para B, Cu e Fe, que não apresentaram diferença significativa entre eles. Nas plantas a distribuição de B ocorre via xilema, sendo transportado predominantemente, por fluxo transpiratório, sendo influenciado, principalmente, pela temperatura, pela luminosidade, pelo conteúdo de água e pela umidade relativa (Marschner, 2012). O Cu participa de processos fotossintéticos e respiratórios, associado à plastocianina, que participa do fluxo de elétrons na fotossíntese (Kirkby; Römheld, 2007). O desenvolvimento do cloroplasto, a biossíntese da clorofila e a fotossíntese são processos onde o Fe desempenha função essencial (Nagajyoti et al., 2010).

O Cu apresentou a maior ET no cultivo com omissão em relação aos demais micronutrientes (Tabela 5). O Cu é considerado um elemento móvel em plantas bem nutridas, podendo ser translocado facilmente (Floss, 2011). No cultivo com a omissão de micronutrientes, não houve diferença significativa na ET de Zn e Mn, que apresentaram a menor percentagem. O Zn é um micronutriente importante requerido por muitas enzimas, como a anidrase carbônica, a superóxido dismutase, atua na síntese de proteínas, no metabolismo de carboidratos e ainda pode ser requerido para a biossíntese de clorofila (Broadley et al., 2012). A distribuição de Zn na planta pode ocorrer com facilidade para a parte aérea (Kopittke et al., 2014), porém, não foi observado neste trabalho. O Mn absorvido pela planta é preferencialmente reportado para a parte aérea, para atuação nos processos fotossintéticos da planta, sendo translocado através do xilema das raízes até as brotações (Marschner, 2012). A translocação dos nutrientes pela planta depende da espécie vegetal, do elemento e das condições ambientais (Liu et al., 2007).

A eficiência na utilização de um nutriente pelas plantas relaciona processos de absorção, translocação, armazenamento e utilização, sendo definida como a capacidade de utilização desse elemento para a produção de matéria seca. A eficiência de utilização (EU) de nutrientes das plantas submetidas à omissão de micronutrientes não diferiu em relação às



plantas cultivadas em solução completa, exceto para B e Mn que com suprimento adequado apresentou menor EU. As plantas cultivadas no tratamento completo apresentaram maiores EU para o micronutriente Cu. Os micronutrientes Zn e B nas plantas cultivadas em solução com suprimento adequado de nutrientes obtiveram EU intermediários, não apresentando diferença significativa entre eles. Enquanto os menores valores de EU no cultivo com solução completa foram observados para Mn e Fe.

Nas plantas submetidas à omissão de micronutrientes, o nutriente que apresentou a maior EU foi o Cu, seguido pelo B (Tabela 5). O requerimento das plantas por Cu é baixo, mesmo apresentando funções fisiológicas importantes, como a participação em sistemas de oxirredução e na composição de várias enzimas (Marschner, 2012). Os nutrientes Zn e Mn apresentaram valores de EU intermediários quando as plantas foram cultivadas com a omissão de micronutrientes. A omissão de micronutrientes para as plantas de *falis* apresentou menor EU para Fe (Tabela 5). O Fe está envolvido na fotossíntese, na respiração mitocondrial, na assimilação do nitrogênio, na proteção contra patógenos e na biossíntese de etileno, ácido giberélico e ácido jasmônico (Hansch; Mendel, 2009).

#### 4. Conclusões

A omissão de micronutrientes ocasionou alterações na taxa fotossintética, na condutância estomática, na taxa transpiratória, no carbono consumido, no carbono interno e na eficiência no uso da água. Os tratamentos (A omissão dos micronutrientes B, Fe e Zn na suplementação nutricional afetaram o desenvolvimento fisiológico das plantas de *falis*.) com que mais afetaram as características fisiológicas de *falis* foram às omissões de B, Fe e Zn.

A omissão de micronutrientes comprometeu o crescimento das plantas de *falis*. No cultivo de *falis* a ordem de restrição do crescimento ocasionada pela omissão de micronutrientes foi: Fe > B > Zn > Mn > Cu.

As plantas de *falis* cultivadas em solução com suprimento adequado de nutrientes apresentou acúmulo total de micronutrientes com a seguinte ordem decrescente Fe > Mn > Zn > B > Cu, o que reflete as exigências nutricionais de *falis*.

#### Agradecimentos

A Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (Fapemig) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro. A Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, pela infraestrutura necessária para condução do experimento.

#### Referências

- Ahmad, W. et al. (2009). Role of boron in plant growth: a review. *Journal of Agricultural Research*, Lahore, 47(3). 3, 329-338.
- Aspiázú, I., Sediya, T., Ribeiro Jr., J.I., Silva, A.A., Concenco, G., Galon, L., Ferreira, E.A., Silva, A.F., Borges, E.T., & Araujo, W.F. (2010). Eficiência fotosintética y de uso del agua por malezas (2010). *Planta Daninha*, Viçosa, 28 (1), 87-92.
- Aular, J., & Natale, W. (2013). Nutrição mineral e qualidade do fruto de algumas frutíferas tropicais: goiabeira, manga, banana e mamoeiro. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, 35(4), 1214-1231.
- Barros, J., Serk, H., Granlund, I., & Pesquet, E. (2015). The cell biology of lignification in higher plants. *Annals of botany*, Oxford, 115(7), 1053-1074.
- Bessa, L. A., Silva, F.G, Moreira, M.A., Teodoro, J.P.R., & Soares, F.A.L. (2013). Characterization of nutrient deficiency in *Hancornia speciosa* Gomes seedlings by omitting micronutrients from the nutrient solution. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, 35 (2), p.72-83.
- Bogiani, J., Esteves, A., & Rosolem, C. (2013). Carbohydrate production and transport in cotton cultivars grown under boron deficiency. *Scientia Agricola*, Piracicaba, 70(6), 442-448.
- Briat, J. F., Curie, C., & Gaymard, F. (2007). Iron utilization and metabolism in plants. *Curr. Opin. Plant Biology*, Palo Alto, 10(3), 276-282.
- Briat, J. F., Dubos, C., & Gaymard, F. (2015). Iron nutrition, biomass production, and plant product quality. *Trends in Plant Science*, Cambridge, 20(1), 33-40.
- Broadley, M. (2012). Function of nutrients: micronutrients. In: Marschner, P., ed. *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*, 3.ed. London: Academic Press Elsevier, 2012. 651 p.



- Broadley, M. (2007). Zinc in plants. *New Phytologist*, Lancaster, v. 173, 677-702.
- Chen, L., Ding, C., Wang, S., & Ding, Y. (2014). Physiological and molecular responses under Fe deficiency in two rice (*Oryza sativa*) genotypes differing in iron accumulation ability in seeds. *Journal of Plant Growth Regulation*, New York, 33(4), 769-777.
- Chepote, R. E. (2013). Recomendações de corretivos e fertilizantes na cultura do cacauzeiro no sul da Bahia. Ilhéus: CEPLAC/ CEPEC, 2013. 44 (*Boletim Técnico*, 203).
- Cherif, J., Mediouni, C., Ammar, W.B., & Jemal, F. (2011). Interactions of zinc and cadmium toxicity in their effects on growth and in antioxidative systems in tomato plants (*Solanum lycopersicum*). *Journal of Environmental Sciences*, Umuahia, 23(3), p.837-844.
- Clark, R.B. (1975). Characterization of phosphatase of intact maize roots. *Journal Agriculture Food Chemistry*, Washington, 23(4), 458-460.
- Concenço, G., Ferreira, E.A., Silva, A.A., Ferreira, F.A., Galon, L., Reis, M.R., d'Antonino, L., Vargas, L., & Silva, L.V.B.D. (2008). Fotossíntese de biótipos de azevém sob condição de competição. *Planta Daninha*, Viçosa, 26(3), 595-600.
- Cunha, A. C. M. C. M. Paiva, H.N., Xavier, A., & Otoni, W.C. (2009). Papel da nutrição mineral na formação de raízes adventícias em plantas lenhosas. *Pesquisa Florestal Brasileira*, Colombo, 58 (1), 35-47.
- Dong, T., Xia, R., Xiaom Z., Wang, P., & Song, W. (2009). Effect of pre-harvest application of calcium and boron on dietary fibre, hydrolases and ultrastructure in 'Cara Cara' navel orange (*Citrus sinensis* L. Osbeck) fruit. *Scientia Horticulturae*, Kentucky, 121(3), 272-277.
- Faria, A.T., Silva, A.F., Ferreira, E.A., Rocha, P.R.R., Silva, D.V., Silva, A.A., & Tironi, S.P. (2014). Alterações nas características fisiológicas da cana-de-açúcar causadas por trinexapac-ethyl. *Revista Brasileira Ciências Agrárias*. Recife, 9(2), 200-204.
- Ferreira, E. A., Aspiázú, I. A., Galon, L. L., Concenço, G. C., Silva, A. F., Reis, L. A. C., & Carvalho, F. (2011). Características fisiológicas da soja em relação a espécies de plantas daninhas. *Revista Trópica Ciências Agrárias e Biológicas*. Chapadina, 5(1), p.42-52.
- Fischer, G., & Almanza, P.J. (2014). Importancia y cultivo de la uchuva. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, 36(1), 001-015.
- Floss, E. L. (2011). *Fisiologia das plantas cultivadas: o estudo que está por trás do que se vê*. 5ed. Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo, 734 p.
- Franco, A.C., Rossatto, D.R., Silva, L.C.R., & Ferreira, C.S. (2014). Cerrado vegetation and global change: the role of functional types, resource availability and disturbance in regulating plant community responses to rising CO<sub>2</sub> levels and climate warming. *Theoretical and Experimental Plant Physiology*, Campos dos Goytacazes, 26(1), 19-38.
- Führs, H. (2012). Functional associations between the metabolome and manganese tolerance in *Vigna unguiculata*. *Journal of Experimental Botany*, Oxford, 63(1), 329-340.
- Galon, L., Ferreira, F.A., Ferreira, E.A., Silva, A.A., & Concenço, G. (2010). Tolerância de novos genótipos de cana-de-açúcar a herbicidas. *Planta Daninha*, 28(2), 329-338.
- Hafeez, B., Khanif, Y. M., & Saleem, M. (2013). Role of zinc in plant nutrition - A Review. *American Journal of Experimental Agriculture*, West Bengal, 3(1), 374-391.
- Hänsch, R., & Mendel, R. R. (2009). Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl). *Current Opinion in Plant Biology*, Oxford, 12(3), 259-266.
- Henriques, A. R., Chalfun-Junior, A., & Aarts, M. (2012). Strategies to increase zinc deficiency tolerance and homeostasis in plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, Londrina, 24(1), 3-8.
- Hooda, S. (2010). *Trace Elements in Soils*. Ed. 1. United Kingdom: Wiley-Blackwell, 616 p.
- Ianckievicz, A., Takahashi, H.W., Fregonezi, G.A.F., & Rodini, F.K. (2013). Produção e desenvolvimento da cultura de *Physalis peruviana* L. submetida a diferentes níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva. *Ciência Rural*, Santa Maria, 43(3), 438-444.
- Jeong, J., & Connolly, E. L. (2009). Iron uptake mechanisms in plants: Functions of the FRO family of ferric reductases. *Plant Science*, Clare, v. 176, 709-714.
- Kirkby, E.A., & Römheld, V. (2007). Micronutriente na fisiologia de plantas: funções, absorção e mobilidade. International Plant Nutrition Institute. *Informações Agronômicas*, Piracicaba, 118(2), 1-24.
- Kobayashi M., Kouzu, N., Inami, N., Toyooka, K., Konishi, Y., Matsuoka, K., & Matoh, T. (2011). Characterization of *Arabidopsis* CTP:3-Deoxy-D-manno-2-Octulosonate Cytidyltransferase (CMP-KDO synthetase), the enzyme that activates KDO during rhamnogalacturonan II biosynthesis. *Plant Cell Physiology*, Kamikyo-ku, 52(10), 1832-1843.
- Kobayashi, T., & Nishizawa, N. K. (2012). Iron uptake, translocation, and regulation in higher plants. *Annual Review of Plant Biology*, Palo Alto, 63(2), 131-152.
- Kopittke, P.M., Menzies, N.W., Wang, P., & Wehr, J.B. (2014). The rhizotoxicity of metal cations is related to their strength of binding to hard ligands. *Environmental Toxicology and Chemistry*, Granada, 33(2), 268-277.
- Kopittke, P.M., Blamey, P.C., Wang, P., & Menzies, N.W. (2011). Calculated activity of Mn<sup>2+</sup> at the outer surface of the root cell plasma membrane governs Mn nutrition of cowpea seedlings. *Journal of Experimental Botany*, Oxford, p.1-9.
- Landi, M., Remorini, D., Pardossi, A., & Guidi, L. (2013). Boron excess affects photosynthesis and antioxidant apparatus of greenhouse *Cucurbita pepo* and *Cucumis sativus*. *Journal of Plant Research*. Bunkyo-ku, 78(126), 775-786.

- Lee, S. H., Kim, W. S., & Han, T. H. (2009). Effects of post-harvest foliar boron and calcium applications on subsequent season's pollen germination and pollen tube growth of pear (*Pyrus pyrifolia*). *Scientia Horticulturae*, Kentucky, 122(4), 77-82.
- Li, B., McKeand, S.E., & Allen, H.L. (1991). Genetic variation in nitrogen use efficiency of loblolly pine seedlings. *Forest Science, Bethesda*, 37(2), p.613-626.
- Li, H., Wang, L., & Yang, Z. M. (2015). Co-expression analysis reveals a group of genes potentially involved in regulation of plant response to iron-deficiency. *Gene*, Amsterdam, 554(1), 16-24.
- Liu, J., Maldonado-Mendoza, I., Lopez-Meyer, M., Cheung, F., Town, C.D., & Harrison, M.J. (2007) Arbuscular mycorrhizal symbiosis is accompanied by local and systemic alterations in gene expression and an increase in disease resistance in the shoots. *Plant Journal*, Oxford, 12(50), 529–544.
- Liu, L., Park, J., Siegal, D.A., McCaety, M. R., & Clark, K.D. (2014). Heteroepitaxial growth of two-dimensional hexagonal boron nitride templated by graphene edges. *Science*, Washington, 343(6167), 163-167.
- Lima, C. S. M. Gonçalves, M. A., Tomaz, Z. F. P., Rufato, A. de R., & Fachinello, J. C. (2010). Sistemas de tutoramento e épocas de transplante de physalis. *Ciência Rural*, Santa Maria, 40(12), 2472-2479.
- Lima, R. L.S., Severino, L.S., Cazetta, J.O., Azevedo, C.A.V., Sofiatti, V., & Arriel, N.H.C. (2011). Redistribuição de nutrientes em folhas de pinhão-mansão entre estádios fenológicos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, 15(4), 1175-1179.
- Loneragan, J. F. (2012). Distribution and movement of manganese in plants. Graham, R. D. et al. (eds.). *Manganese in soils and plants*. Glen Osmond, 113-124
- López, J., Vega-Gálvez, A., Torres, M.J., Lemus-Mondaca, R., Quispe-Fuentes, I., & Di Scala, K. (2013). Effect of dehydration temperature on physico-chemical properties and antioxidant capacity of goldenberry (*Physalis peruviana* L.). *Chilean Journal of Agricultural Research*, Chillán, 73(12), 293-300.
- Luchese, C. L., Gurak, D., & Marczak, L. D. F. (2015). Osmotic dehydration of *Physalis* (*Physalis peruviana* L.): Evaluation of water loss and sucrose incorporation and the quantification of carotenoids. *LWT - Food science and technology*, Campinas, 63(5), 1128-1136.
- Marschner, (2012). *Mineral nutrition of higher plants*. Elsevier Ltd. (3a ed.), 2012. 651 p.
- Mascarenhas, H. A., Esteves, J.A.F., Wutke, E.B., Reco, P.C., & Leão, P.C.L. (2013). Deficiência e toxicidade visuais de nutrientes em soja, *Nucleus*, Ituverava, 10(2).
- Melo, A.S., Silva Júnior, C.D., Fernandes, P.D., Sobral, L.F., Brito, M.E.B., & Dantas, J.D.M. (2008). Alterações das características fisiológicas da bananeira sob condições de fertirrigação, *Ciência Rural*, Santa Maria, 39(3), 733-741.
- Millaleo, R., Reyes-Díaz, M., Alberdi, M., Ivanov, A.G., Krol, M., & Hüner, N.P.A (2013). Excess manganese differentially inhibits photosystem I versus II in *Arabidopsis thaliana*. *Journal of Experimental Botany*, 64(2), 343-354.
- Miranda, R. S., Sudério, F.B., Sousa, A.F., & Gomes Filho, E. (2010). Deficiência nutricional em plântulas de feijão-de-corda decorrente da omissão de macro e micronutrientes, *Revista Ciência Agronômica*, Fortaleza, 41(3), 326-333.
- Moschini, B.P., Coelho, V.A.T., Peche, P.M., Souza, F.B.M., Coutinho, G., Barbosa, C.M.A., & Freire, A.I. (2017). Crescimento e diagnose de deficiências nutricionais em *Physalis peruviana* L. *Revista Agropecuária Técnica*, Areia, 38(4), 169-176.
- Mukhopadhyay, M., Ghosh, P., & Mondal, T. (2013). Effect of boron deficiency on photosynthesis and antioxidant responses of young tea plantlets. *Rus. Journal Plant Physiology*, Chicago, 60(5), 633-639.
- Muniz, J., Kretzschmar, A.A., Rufato, L., Pelizza, T.g., Alencar, T.M., Duarte, E., Lima, A.P.F., & Garanhani, F. (2011). Sistemas de condução para o cultivo de *Physalis* no Planalto Catarinense. *Revista Brasileira Fruticultura*, Jaboticabal, 33(4), 830-833.
- Muniz J., Kretzschmar, A.A., Rufato, L., Pelizza, T.R., Rufato, A.D.R., & Macedo, T.A. (2014). General aspects of *Physalis* cultivation, *Ciência Rural*, Santa Maria, 44(6), p.964-970.
- Nagajyoti, C., Lee, K. D., & Sreekanth, T. V. M. (2010). Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: A review. *Environmental Chemistry Letters*, Berlin, 8(3), 199–216.
- Ozturk, M. et al. (2010). Boron and plants. In: Ashraf, M. (ed.). *Plant adaptation and phytoremediation*. Springer Books, 275-310.
- Peiter, E., Montanini, B., Gobert, A., Pedas, P., Husted, S., Maathuis, F.J.M., Blaudez, D., Chalot, M., & Sanders, D. (2007). A secretory pathway ñ localized diffusion facilitator confers plant manganese tolerance. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Calcutta, 104(20), 8532-8537.
- Pinho, L., & Camprostrini, E. (2010). Plant Physiology Labora et al. Boron deficiency affects gas exchange and photochemical efficiency (JPI test parameters) in green dwarf Coconut. *Journal of Plant Nutrition*, New York, 33(2), 439-451.
- Pinto, C. M., Távora, F. J. A. F., & Pinto, O. R. O. (2014). Relações hídricas, trocas gasosas em amendoim, gergelim e mamona submetidos a ciclos de deficiência hídrica, *Revista AGROTEC*, Porto, 35(1), 31–40.
- Ramadan, M. F. (2011). Bioactive phytochemicals, nutritional value, and functional properties of cape gooseberry (*Physalis peruviana*): An overview. *Food Research International*, 44, 1830-1836.
- Rodrigues, E., Rockenbach, I.B., Cataneo, C., Valdemiro, L., Chaves, E.S., & Fett, R. (2009). Minerals and essential fatty acids of the exotic fruit *Physalis peruviana* L. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, 29(3), 642-645.

- Schmidt, S. B., Jensen, E., & Husted, S. (2016). Manganese deficiency in plants: the impact on photosystem II. *Trends in plant science*, Cambridge, 21(7), 622-632.
- Shi, G., Sun, L., & Wang, X. (2014). Leaf responses to iron nutrition and low cadmium in peanut: anatomical properties in relation to gas exchange. *Plant Soil*, Western, 99-111.
- Siddqi, M.Y., & Glass, A.D.M. (1981). Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient efficiency in plants. *Journal of Plant Nutrition*, New York, 4(3), p.289-302.
- Silva, F. C. (2009). *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*. 2.ed. Brasília: Embrapa Informações Tecnológicas, 627 p.
- Socha, A. L., & Guerinot, M. L. (2014). Mn-coupling manganese: the role of transporter gene family member sin manganese up take and mobilization in plants. *Frontiers in Plant Science*, Lausanne Switzerland, 5(2), 1-16.
- Swiader, J.M., Chyan, Y., & Freiji, F.G. (1994). Genotypic differences in nitrate uptake and utilization efficiency in pumpkin hybrids, *Journal of Plant Nutrition*, New York, 17(10), 1687-1699.
- Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I., & Murphy, A. (2017) *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 888
- Vitti, G. C., & Serrano, C. G. E. (2017). O zinco na agricultura. *Agrotecnologia*, Ipameri, v. 3, p.10-11.
- Werner, A. K., & Witte, C. The biochemistry of nitrogen remobilization: purines rings catabolism. *Trends in Plant Science*, Cambridge, v. 16, 381-387, 2011.
- Wimmer, M. A., & Eichert, T. (2013). Review: Mechanisms for boron deficiency-mediated changes in plant water relations. *Plant Science*, Clare, 203(204) 25-32.
- Xavier, C. V., & Natale, W. (2017). Influência do boro no teor, acúmulo e eficiência nutricional em porta-enxertos de caramboleira, *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, Recife, 12, (1), 6-13.
- Yadegari, M., & Shakerian, A. (2014). Effects of micronutrients foliar application on essential oils of lemom balm (*Melissa officinalis* L.). *Advances in Environmental Biology*, Iran, 8(4), 1063-1068.
- Yruela, I. (2009). Copper in plants: acquisition, transport and interactions. *Functional Plant Biology*, Melbourne, 36(5), 409-430.
- Yruela, I. (2013). Transition metals in plant photosynthesis. *Metallomics*, Indiana, 5(9), 1090-1109.
- Zanão Júnior, L. A. (2010). Absorção de cálcio e ferro por arroz cultivado em solução nutritiva com doses de silício e manganês, *Scientia Agraria*, Curitiba, 11(3), 263-269.