

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**DEFICIÊNCIA DE MICRONUTRIENTES E EFEITO DO NIQUEL
NO ESTADO NUTRICIONAL DO MARACUJAZEIRO AMARELO
(*Passiflora edulis Sims*)**

Rodolfo Lizcano Toledo
Engenheiro Agrônomo

2017

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**DEFICIÊNCIA DE MICRONUTRIENTES E EFEITO DO NIQUEL
NO ESTADO NUTRICIONAL DO MARACUJAZEIRO AMARELO
(*Passiflora edulis Sims*)**

Rodolfo Lizcano Toledo

Orientador: Prof. Dr. Wanderley José de Melo

Co-Orientador: Prof. Dr. Renato de Mello Prado

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Ciência do Solo).

2017

Toledo, Rodolfo Lizcano

T649d Deficiência de micronutrientes e efeito do níquel no estado nutricional do maracujazeiro amarelo (*Passiflora edulis Sims*) / Rodolfo Lizcano Toledo. -- Jaboticabal, 2017

xii, 87 p. : il. ; 29 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2017

Orientador: Wanderley Jose de melo

Co-Orientador: Renato de Mello Prado

Banca examinadora: Fabio Olivieri de Nobile, Fabio Luiz Checchio Mingotte

Bibliografia

1. Pêlos radiculares. 2. Solução nutritiva. 3. Cloroplastos. 4. Deficiência. 5. Microscopia. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.41:631.811

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação – Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: DEFIÊNCIA DE MICRONUTRIENTES E EFEITO DO NÍQUEL NO ESTADO NUTRICIONAL DO MARACUJAZEIRO AMARELO (*Passiflora edulis Sims*)

AUTOR: RODOLFO LIZCANO TOLEDO

ORIENTADOR: WANDERLEY JOSÉ DE MELO

COORIENTADOR: RENATO DE MELLO PRADO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA (CIÊNCIA DO SOLO), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. WANDERLEY JOSÉ DE MELO
Departamento de Tecnologia / FCAV / UNESP - Jaboticabal


Prof. Dr. FÁBIO GEMER DE NOBILE
Centro Universitário da Fundação Estudantil de Barroto / Barroto, SP


Prof. Dr. FÁBIO LUIZ CHECCHIO MINGOTTE
CTA - Colégio Técnico Agrícola / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 08 de março de 2017.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

RODOLFO LIZCANO TOLEDO – Nascido em Campoalegre, Huila, Colômbia, filho de Flor de Lis Toledo Rojas Berthil Lizcano Ochoa. Graduado em Engenharia Agrônômica, pela Universidade do Tolima em Ibagué, Tolima, Colômbia. Realizou seu estágio no Centro Agrônômico de Pesquisa e Ensino – CATIE em Turrialba, Costa Rica, com bolsa de estudo do projeto Programa Ambiental Mesoamericano - MAP. Tem uma especialização em manejo sustentável na relação solo-agua-planta no trópico pela Universidade de Ciências Aplicadas e ambientais – U.D.C.A, em Bogotá, Colômbia. Foi Bolsista do Programa de Formação de talento humano de alto nível para as regiões da Colômbia - COLCIENCIAS. Há trabalhado como Instrutor no Serviço Nacional de Aprendizagem – SENA (Colômbia), trabalhando em extensão e formação acadêmica e pesquisa. Tem mais de 3.000 horas de treinamento e cursos a nível nacional e internacional. Em março de 2015 ingressou no Mestrado do Programa de Pós-graduação em Agronomia (Ciência do Solo) na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, Câmpus de Jaboticabal, Participou de várias atividades e projetos na área de Fertilidade do Solo, realizando publicações em revistas brasileiras e internacionais. Atualmente participa do Grupo de Estudos em Nutrição de Plantas, GENPLANT/FCAV-UNESP.

“A mente que se abre a uma nova ideia jamais voltará ao seu tamanho original”.

Albert Einstein.

Ao Meu querido Pai Berthil Lizcano, minha querida e amada mãe
Flor de Liz Toledo Rojas, por dedicar
sua vida à minha e pelo exemplo de ser humano.

À minha esposa Milena Valderrama Parra, pelos cuidados,
conselhos sabedoria e humildade durante toda minha vida.

Ao Professor Nelson Canal pelos ensinamentos de vida.

Aos meus familiares e amigos pela confiança e apoio.

Ofereço e Dedico

AGRADECIMENTOS

Às minhas grandes inspirações Bertil Lizcano Ochoa e Flor Toledo, pela compreensão, apoio, ternura, e os ensinamentos de vida que tanto me fortaleceram como pessoa e como ser humano.

A minha esposa e minha filha, Milena Valderrama Parra e Maria José Lizcano Valderrama por ser o motor de minha vida e força para seguir adiante nos momentos mais difíceis durante o processo e estadia no Brasil.

Ao meu orientador prof. Wanderley José de Melo e co-orientador Renato de Mello Prado pela confiança, conselhos e ensinamentos nesta grande escola chamada UNESP.

Aos professores (as) José Carlos Barbosa, Durvalina Maria Mathias dos Santos, Jairo Osvaldo Cazetta, Fabiola Vitti, Mara Cristina Pessoa da Cruz, pelos ensinamentos e contribuições a este trabalho.

Aos amigos da pós-graduação, por todos os auxílios na execução deste trabalho e durante todo o curso de mestrado; a meu grande amigo e parceiro Dilier Olivera Vicedo pelas suas contribuições como amigo e colega.

Aos meus colegas do laboratório do professor Wanderley e do professor Renato, pelos trabalhos desenvolvidos em equipe.

À todo o corpo docente e técnicos da Universidade Estadual Paulista pela contribuição com a minha formação.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS	iv
LISTA DE FIGURAS	v
RESUMO	ix
ABSTRACT	xi
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 Panorama Atual	3
2.2 Botânica do maracujazeiro	3
2.3 Importâncias da nutrição mineral em plantas	4
2.4 Micronutrientes em Plantas	4
2.4.1 Boro (B)	4
2.4.2 Manganeses (Mn)	6
2.4.3 Ferro (Fe)	7
2.4.4 Zinco (Zn)	9
2.4.5 Cobre (Cu)	9
2.4.6 Molibdênio (Mo)	11
2.5 Funções e sintomas de deficiências de micronutrientes em plantas	12
2.6 Importâncias dos Micronutrientes em Maracujá	13
2.7 Clorofila e SPAD	13
2.8 Alterações Ultra-estruturais	14
2.9 Toxicidades por Níquel (Ni)	14
2.10 Microscopias eletrônica de transmissão	15
2.11 Medições de variáveis fisiológicas através do Analisador de Gás por Infravermelho (IRGA)	15
.....	15
3. MATERIAL E MÉTODOS	17
3.1 Avaliações do experimento	20

3.1.1 Caracterização visual	20
3.1.2 Identificações de pêlos radicais e subapicais	21
3.1.3 Medida do índice de cor verde	21
3.1.4 Matérias seca da parte aérea e das raízes	21
3.1.5 Determinações dos teores de nitrogênio, fosforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, boro, zinco, ferro, manganês, cobre, molibdênio e níquel; na parte aérea e nas raízes.	21
3.1.6 Determinação de pelos radicais e subapicais por meio de microscópio ótico.....	22
3.1.7 Determinação de IRGA	22
3.1.8 Análise ultra-estrutural do mesófilo foliar no maracujazeiro	22
3.1.9 Análise estatístico	23
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
4.1 Caracterizações das deficiências dos micronutrientes e toxicidade de Níquel	24
4.1.1 Níquel	24
4.1.2 Boro	27
4.1.3 Manganês	31
4.1.4 Ferro	33
4.1.5 Zinco	36
4.1.6 Cobre	39
4.1.7 Molibdênio	41
4.2 Determinação de desenvolvimento de pelos radicais e subapicais em microscópio ótico	43
4.3 Índice de Cor Verde	46
4.4 IRGA	50
4.5 Determinação das Alterações Ultra-estruturais por meio da Microscopia eletrônica de Transmissão	53

4.5.1 Níquel	53
4.5.2 Boro	55
4.5.3 Manganês	59
4.5.4 Ferro	61
4.5.5 Zinco	63
4.5.6 Cobre	65
4.5.7 Molibdênio	67
5.CONCLUSÕES	70
6. REFERÊNCIAS	71

LISTA DE TABELAS

	Página
<p>Tabela 1. Solução Nutritiva Hogland e Arnon (1950). Composição (mL L⁻¹) das soluções nutritivas completa (Testemunha) e com omissão de micronutrientes (-B, -Mn, -Fe, -Zn, -Cu, -Mo) e adição de Níquel (Ni)</p> <p>.....</p>	18
<p>Tabela 2. Matéria seca da parte aérea e raiz de plantas de <i>Passiflora edulis</i> Sims, desenvolvidas em soluções nutritivas com tratamento completo, adição de Níquel (Ni) e omissão de Boro (B), Manganês (Mn), Ferro (Fe), Zinco (Zn), Cobre, (Cu) e Molibdênio (Mo) respectivamente</p> <p>.....</p>	24
<p>Tabela 3. Teores de macronutrientes e de Ni, B, Mn, Fe, Zn, Cu e Mo, na matéria seca de folhas de <i>Passiflora edulis</i> Sims, desenvolvidas em soluções nutritivas com adição de Ni, omissão de micronutrientes, e tratamento completo</p> <p>.....</p>	25
<p>Tabela 4. Macronutrientes e micronutrientes: Ni, B, Mn, Fe, Zn, Cu e Mo; na matéria seca de raízes de <i>Passiflora edulis</i> Sims, cultivadas em soluções nutritivas completa, completa com adição de Ni, e com omissão de micronutrientes</p> <p>.....</p>	30
<p>Tabela 5. Resumo dos resultados médios de concentração interna de CO₂, da transpiração, da condutância estomática e da fotossíntese de mudas de maracujazeiro, em função das omissões dos micronutrientes, adição de níquel e tratamento completo</p> <p>.....</p>	50

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Valores de temperatura média do ar (A), e umidade relativa do ar (B) na casa de vegetação, durante o desenvolvimento do experimento	20
Figura 2. Sintomas de fitotoxicidade de níquel. Na parte área das plantas de maracujá (A), Comparação altura nos tratamentos completo (C) e completo com adição de Níquel (+Ni) (B) Folha nova com início de sintomas de fitotoxicidade (C) Clorose geral na muda de maracujá (D) Estado avançado do sintoma de fitotoxidez (E) Desenvolvimento radicular nos tratamentos completo (- C) e completo com adição de Níquel (+Ni)	26
Figura 3. Sintomas da deficiência de B. Nas plantas de maracujá. A. Altura entre os tratamentos completos (- C) e com omissão de boro (-B) B. Deformação e redução no tamanho das folhas novas e encarquilhamento C. Folhas com aspecto coriáceo e clorose irregular D. Clorose avançada em toda a planta E. Diferença de desenvolvimento radicular entre o tratamento completo (- C) e omissão de boro (-B)	29
Figura 4. Identificação dos sintomas da deficiência de Mn. Na parte aérea de plantas de maracujá (A); clorose internerval das folhas novas, (B) e reticulado grosso (C), clorose avançada em toda a planta (D); Diferença de desenvolvimento radicular entre o tratamento completo (C) e omissão de Manganês (-Mn) (E).....	32
Figura 5. Identificação dos sintomas da deficiência de Fe. Na parte aérea das plantas de maracujá (A); clorose internerval das folhas novas com reticulado fino (B) e (C), mudança de cor nas raízes do tratamento completo (C) e a omissão de Ferro (- Fe) (D); Diferença de desenvolvimento radicular entre o tratamento completo (C) e omissão de Ferro (-Fe) (E).	35

- Figura 6.** Identificação dos sintomas da deficiência de Zn. Nas plantas de maracujá. Na parte aérea das plantas de maracujá (A); folha nova pequena e cumprida (B) deformação e encurvamento das folhas novas (C), formação de brotações excessivas e internódios curtos (D); Diferença de desenvolvimento radicular entre o tratamento completo (C) e omissão de Zinco (-Zn) (E).
..... 37
- Figura 7.** Identificação dos sintomas da deficiência de Cu em plantas de maracujá. Na parte aérea das plantas de maracujá (A); folha nova pequena, cumprida e com sintoma de clorose (B) deformação e encurvamento das folhas novas (C), formação de brotações excessivas e internódios curtos (D); diferença de desenvolvimento radicular entre o tratamento completo - C e omissão de Cobre -Cu (E)
..... 40
- Figura 8.** Identificação dos sintomas da deficiência de Mo em plantas de maracujá. Na parte aérea de plantas de maracujá (A); sintoma inicial da deficiência de molibdênio (B) Clorose em folhas (C), Encurvamento das folhas velhas (D); diferença de desenvolvimento radicular entre o tratamento completo (C) e omissão de Molibdênio (-Mo) (E)
..... 42
- Figura 9.** Determinação de pêlos apicais e sub-apicais em tratamentos: Manganês (A), Omissão de Boro (B), Completo (C), Omissão de Ferro (D), Omissão de Zinco (E), Omissão de Cobre (F), Adição de Níquel (G), Omissão de Molibdênio (H).
..... 46
- Figura 10.** Determinação indireta do teor de clorofila, em valores SPAD, no maracujazeiro variedade gigante amarelo em soluções nutritivas completa (A), com adição de Níquel (B), omissão de Boro (C), omissão de Manganês (D). 47
- Figura 11.** Determinação indireta do teor de clorofila, em valores SPAD, no maracujazeiro variedade gigante amarelo em soluções nutritivas com omissão de Ferro (E), omissão de Zinco (F), omissão de Cobre (G), omissão de Molibdênio (H). 49
- Figura 12.** Análise ultra-estrutural do mesófilo foliar de plantas de Maracujá. Aspecto geral da célula do tecido foliar: Adição de Níquel (A) e Tratamento Completo (B); parte da célula: Adição de Níquel (C) e (E), e tratamento completo (D) e (F); cl: cloroplastos; lm: lamela média; n:

núcleo; gl: glóbulos de lipídeos; ga: grânulos de amido; pc: parede celular.	54
Figura 13. Análise ultra-estrutural do mesófilo foliar de plantas de Maracujá. Aspecto geral da célula do tecido foliar: Omissão de Boro (A) e Tratamento Completo (B); parte da célula: Omissão de Boro (C) e (E), e Tratamento Completo (D) e (F); cl: cloroplastos; lm: lamela média; n: núcleo; gl: glóbulos de lipídeos; ga: grânulos de amido; pc: parede celular; T: Tilacóides.	57
Figura 14. Análises ultra-estrutural do mesófilo foliar de plantas de Maracujá. Aspecto geral da célula do tecido foliar: Omissão de Manganês (A) e Tratamento Completo (B); parte da célula: Omissão de Manganês (C) e (E), e Tratamento Completo (D) e (F); cl: cloroplastos; lm: lamela média; n: núcleo; gl: glóbulos de lipídeos; ga: grânulos de amido; pc: parede celular	60
Figura 15. Análise ultra-estrutural do mesófilo foliar de plantas de Maracujá. Aspecto geral da célula do tecido foliar: Omissão de Ferro (A) e Tratamento Completo (B); parte da célula: Omissão de Ferro (C) e (E), e Tratamento Completo (D) e (F); cl: cloroplastos; lm: lamela média; n: núcleo; gl: glóbulos de lipídeos; ga: grânulos de amido; pc: parede celular; T: Tilacóides	62
Figura 16. Análise ultra-estrutural do mesófilo foliar de plantas de Maracujá. Aspecto geral da célula do tecido foliar: Omissão de Zinco (A) e Tratamento Completo (B); parte da célula: Omissão de Zinco (C) e (E), e Tratamento Completo (D) e (F); cl: cloroplastos; lm: lamela média; n: núcleo; gl: glóbulos de lipídeos; ga: grânulos de amido; pc: parede celular	64
Figura 17. Análise ultra-estrutural do mesófilo foliar de plantas de Maracujá. Aspecto geral da célula do tecido foliar: Omissão de Cobre (A) e Tratamento Completo (B); parte da célula: Omissão de Cobre (C) e (E), e Tratamento Completo (D) e (F); cl: cloroplastos; lm: lamela média; n: núcleo; gl: glóbulos de lipídeos; ga: grânulos de amido; pc: parede celular; T: Tilacóides	66

Figura 18. Análise ultra-estrutural do mesófilo foliar de plantas de Maracujá. Aspecto geral da célula do tecido foliar: Omissão de Molibdênio (A) e Tratamento Completo (B); parte da célula: Omissão de Molibdênio (C) e (E), e Tratamento Completo (D) e (F); cl: cloroplastos; lm: lamela média; n: núcleo; gl: glóbulos de lipídeos; ga: grânulos de amido; pc: parede celular; T: Tilacóides
.....

DEFICIÊNCIA DE MICRONUTRIENTES E EFEITO DO NIQUEL NO ESTADO NUTRICIONAL DO MARACUJAZEIRO AMARELO (*Passiflora edulis Sims*)

RESUMO - O experimento foi conduzido em casa de vegetação na FCAV/UNESP. Objetivou-se avaliar a caracterização os sintomas visuais de deficiência de micronutrientes em folhas; e avaliar os efeitos desses micronutrientes no estado nutricional do maracujazeiro amarelo. No experimento foi utilizado solução nutritiva, como substrato vermiculita em extrato úmido. Foram utilizadas mudas de maracujá (*Passiflora edulis Sims*.) do híbrido comercial BRS Gigante Amarelo do Cerrado. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado; com oito tratamentos (solução completa (Controle), omissão de B, omissão de Cu, omissão de Fe, omissão de Mn, omissão de Mo, omissão de Zn, solução completa + Ni); e 5 repetições. Utilizou-se como unidade experimental; vasos com 8 dm³ de substrato com 1 planta/vaso e 2 vasos por unidade experimental. Após 60 dias do plantio, foi avaliada a matéria seca de cada tratamento, foi feito diagnóstico visual das deficiências nutricionais em folhas. Semanalmente foi avaliado o teor de clorofila para estabelecer regressão linear ou quadrática, entre os teores de clorofila e as deficiências nutricionais de cada tratamento; uma avaliação de variáveis fisiológicas como a transpiração, fotossíntese, condutância estomática e concentração interna e externa de CO₂. Avaliaram-se características morfológicas como desenvolvimentos de pêlos radiculares e alterações no mesofilo foliar. A ordem de manifestação das deficiências no experimento foram as seguintes: Fe>Mn>Zn>Cu>Mo>B; a toxicidade de Níquel apareceu aos 40 dias após ao transplante, com sintomas de clorose nas folhas novas, logo um amarelecimento geral e algumas partes brancas. A omissão de B resultou em deformações no limbo foliar e perda da dominância apical, mostrando deformação dos pontos de crescimento; a omissão de Mn ocasionou redução do crescimento e clorose generalizada das folhas jovens com retículo grosso, a omissão de Fe resultou em uma clorose internerval, com aparência de reticulado fino, sendo Fe e Mn os primeiros nutrientes cuja omissão resulta em sintomas de deficiência nas plantas de maracujá, seguidos pelo zinco e cobre, e por último o boro.

O zinco e cobre apresentaram deformação e alongamento das folhas reduzindo consideradamente a altura e desenvolvimento radicular, o molibdênio apresentou uma clorose nas folhas velhas que posteriormente se espalhou de forma geral. Os teores dos micros na parte aérea e raiz variaram de acordo ao tratamento, refletindo em problemas morfológicos e a nível ultra-estrutural na célula e fisiológicos, alterando variáveis como a transpiração, fotossíntese, condutância estomática e a relação entre a concentração de CO₂ nos espaços intercelulares e a concentração de CO₂ no ambiente. A omissão de ferro foi o elemento que mais refletiu problemas pela formação de pêlos radicais, observando-se maior formação destes em condições de deficiência do elemento possivelmente por sua relação com os hormônios etileno e auxinas. Todos os tratamentos apresentaram um desarranjo e desorganização a nível ultra-estrutural, nas organelas como os cloroplastos, parede celular, grânulos de amidos, grânulos de lipídeos, núcleo, afetando o funcionamento da célula e causando problemas fisiológicos que refletem em sintomas visuais e no desenvolvimento do maracujazeiro.

Palavras-chave: Pêlos radiculares, solução nutritiva, cloroplastos, Deficiência, microscopia.

MICRONUTRIENT DEFICIENCY AND EFFECT OF NICKEL ON THE NUTRITIONAL STATUS OF YELLOW PASSION FRUIT (*Passiflora edulis Sims*)

ABSTRACT – The experiment was conducted in a greenhouse at FCAV / UNESP. The objective was to evaluate the characterization of the visual symptoms of micronutrient deficiency in leaves; And to evaluate the effects of these micronutrients on the nutritional status of yellow passion fruit. In the experiment, a nutrient solution was used, with vermiculite as a substrate in a humid extract. Passion fruit (*Passiflora edulis Sims*.) Seedlings of commercial hybrid BRS Gigante Amarelo do Cerrado were used. The experimental design was completely randomized; With eight treatments (complete solution (Witness), omission of B, omission of Cu, omission of Fe, omission of Mn, omission of Mo, omission of Zn, complete solution + Ni); And 5 replicates. It was used as experimental unit; Vessels with 8 dm³ of substrate with 1 plant / pot and 2 pots per experimental unit. After 60 days of planting, the dry matter of each treatment was evaluated, and the nutritional deficiencies were evaluated in leaves. The chlorophyll content was evaluated weekly to establish linear or quadratic regression between chlorophyll levels and nutritional deficiencies of each treatment; besides an evaluation of physiological variables such as transpiration, photosynthesis, stomatal conductance and internal and external CO₂ concentration. Morphological characteristics were evaluated by means of optical microscope as were the development of root hair and by means of transmission electron microscopy, changes in leaf mesophyll. The order of manifestation of the deficiencies in the experiment were as follows: Fe> Mn> Zn> Cu> Mo> B; The toxicity of Nickel appeared at 40 days after the experiment was carried out in the vessels with symptoms of chlorosis in the new leaves, thus a general yellowing and some white parts. The omission of B resulted in deformations in the leaf limb and loss of apical dominance, showing deformation of the growth points; The omission of Mn caused reduction of growth and generalized chlorosis of the young leaves with thick reticulum, the omission of Fe resulted in an internerval chlorosis, with the appearance of fine crosslinking, with Fe and Mn being the first nutrients whose omission results in symptoms of plant deficiency Of passion fruit, followed by zinc and copper, and finally boron. The

zinc and copper presented deformation and elongation of the leaves, reducing considerably the height and root development, the molybdenum presented a chlorosis in the old leaves that later spread in general form. The contents of the microspheres in the shoot and root varied according to the treatment, reflecting in morphological and ultrastructural problems in the cell and physiological, changing variables such as transpiration, photosynthesis, stomatal conductance and the relation between the concentration of CO₂ in the spaces And the concentration of CO₂ in the environment. The iron omission was the element that most reflected problems due to the formation of radical hair, being observed a greater formation of iron under conditions of deficiency of the element possibly due to its relation with the hormones ethylene and auxins. The observations in the transmission electron microscope showed in all the treatments a derangement and disorganization at the ultrastructural level, in the organelles as the chloroplasts, cell wall, starch granules, lipid granules, nucleus, affecting the functioning of the cell and causing physiological problems Which reflect on visual symptoms and the development of passion fruit.

Keywords: Root hair, nutritive solution, chloroplasts, Deficiency, microscopy.

1. INTRODUÇÃO

A fruticultura é considerada uma das atividades mais dinâmicas da economia brasileira, apresentando-se com ótimas perspectivas econômicas; devido às condições climáticas favoráveis e o mercado consumidor em plena expansão (FONSECA, 2010). Dentre as frutas o maracujazeiro ocupa um importante espaço na comercialização e produção de frutas. Brasil é o maior produtor de maracujá e o estado de Bahia é líder na produção de maracujá no país.

Os maracujazeiros pertencem à família Passifloraceae, amplamente distribuída pelos trópicos, a qual apresenta mais de 580 espécies, a maioria na América Tropical. No Brasil, são conhecidas mais de 200 espécies nativas de maracujazeiro, sendo o maracujá-amarelo ou maracujá-azedo a mais cultivada, devido à qualidade ácida do suco de seus frutos (METELLI, 2000), sendo a espécie mais significativa a do gênero *Passiflora*, em mais de 95% dos pomares comerciais do Brasil (NEGREIROS et al., 2006).

No Brasil e em muitos outros países, a multiplicação do maracujazeiro amarelo é feita principalmente através de sementes, embora também possa ser realizada através de enxertia e estaquia (São José, 1994). É importante ter em conta nas mudas, um bom substrato, uma ótima irrigação e uma excelente nutrição; as quais promovem plantas saudáveis e vigorosas para a formação dos pomares (RIBEIRO et al., 2005)

Para o estabelecimento adequado do pomar de maracujazeiro é fundamental uso de mudas de alta qualidade tendo estado nutricional adequado especialmente dos micronutrientes.

O conhecimento do estado nutricional das plantas permite o diagnóstico fisiológica e uma interpretação das maneiras pelas quais as plantas respondem a condições de gestão, especialmente de fertilização das culturas (BIANCO et al., 2015).

No caso dos micronutrientes, poucos trabalhos já foram desenvolvidos, mostrando deficiências de micronutrientes na cultura do maracujazeiro em solução nutritiva (PRIMAVESI; MALAVOLTA, 1980).

As deficiências nutricionais apresentam sintomas a nível morfofisiológico e visual. Entre essas mudanças morfológicas se têm o desenvolvimento de pêlos radicais. A deficiência de ferro pode induzir câmbios no desenvolvimento radicular produzindo maior concentração de pelos radicais, devido a sinais sistêmicas que envolve os hormônios, (ROMERA; LUCENA; ALCÁNTARA, 2006; NEUMANN, 2015).

Sempre que ocorre mesmo sintoma pelo nutriente deve-se ao fato deste sempre exercer a mesma função, isto significa que o nutriente pode cumprir o papel de constituinte de uma estrutura orgânica, como ativador de reações enzimáticas, o pode exercer uma função estrutural de uma organela (MARSCHNER, 1995). Os sintomas visíveis de deficiências nutricionais ocorrem com uma série de processos, que tem início em alterações celulares, modificando-o ocasionando a manifestação visível do sintoma. Usualmente os elementos podem estar na planta de forma deficitária o em excesso. O níquel não entra na composição das soluções nutritivas consideradas completas, devido a controvérsia de sua função de essencialidade na planta (NEVES et al., 2007; MARTÍNEZ-RUIZ; MARTÍNEZ-JERÓNIMO, 2015).

Diante do exposto, objetivaram-se avaliar o efeito da deficiência dos micronutrientes ao nível morfofisiológico em mudas de maracujazeiro amarelo. Para isto, realizaram-se experimentos tendo os seguintes objetivos específicos: i) descrever os sintomas visuais das deficiências dos micronutrientes ii) determinar seus teores na parte foliar e raiz quando foram observados os sintomas; iii) fazer uma descrição do desenvolvimento radicular a partir da formação de pelos radiculares, iv) determinar a influência de adição de níquel na solução nutritiva, v) realizar uma avaliação ultra-estrutural comparativa de células do mesófilo foliar a partir de microscopia eletrônica de transmissão e vi) Avaliar o índice de cor verde por médio do clorofilômetro SPAD e variáveis fisiológicas a traves Analisador de Gás por Infravermelho (IRGA).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Panorama Atual da produção de maracujá

Para garantir a expansão do maracujazeiro-amarelo (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Deg.) como uma atividade economicamente viável, estudos sobre nutrição mineral dessa frutífera são fundamentais, considerando-se a importância dos nutrientes na produção das culturas. Assim, o sucesso na formação do pomar depende da qualidade da muda e de seu adequado estado nutricional, garantindo maior pegamento e homogeneidade das plantas, podendo apresentar reflexos na precocidade de produção do pomar (NATALE et al., 2006).

Há várias cultivares comerciais de maracujazeiro disponíveis no mercado, tais como híbridos intravarietais da série 270, desenvolvidos pelo Instituto Agrônomo de Campinas, os híbridos BRS Sol do Cerrado, BRS Gigante Amarelo e BRS Ouro Vermelho, lançados pela Embrapa Cerrados, e as cultivares da série FB, da Flora Brasil. Porém, nenhuma dessas cultivares foi desenvolvida para o Estado do Mato Grosso e necessitam de avaliações para serem recomendadas aos produtores rurais (KRAUSE et al., 2013).

2.2 Botânica do maracujazeiro

A família Passifloraceae da ordem Passiflorales, reúne 18 gêneros, com aproximadamente 580 espécies de maracujá, a maioria delas originárias da América Tropical, sendo 95 % predominantes da América do Sul (VANDERPLANK, 1996).

O gênero *Passiflora* é formado de 24 subgêneros e 465 espécies, sendo considerado o de maior importância econômica. Estima-se que mais de 152 espécies são procedentes do centro-norte do Brasil. De todas as espécies conhecidas, entre 51 e 64 produzem frutos comestíveis (SILVA, 2006). Segundo Silva et al. (2001), as mais

plantadas são o maracujazeiro amarelo e roxo (*Passifloras edulis*), e a segunda espécie em importância econômica é o maracujazeiro doce (*Passiflora alata* Dryand).

2.3 Importâncias da nutrição mineral em plantas

Os efeitos benéficos da adição de elementos minerais, para melhorar o crescimento da planta, são conhecidos na agricultura há muito tempo. Experimentos no solo e na água (Soluções nutritivas) foram feitos com plantas superiores para estabelecer a essencialidade dos elementos minerais para o crescimento e desenvolvimento, e seu papel no metabolismo (LAUCHLI; BIELESKI, 1983; MARSCHNER, 1995).

Os elementos minerais essenciais, também denominados nutrientes minerais das plantas, foram descobertos ao longo do tempo, e são aqueles que atendem aos três critérios de essencialidade: (1) um elemento é essencial quando a planta não consegue completar seu ciclo de vida na sua ausência; (2) o elemento tem função específica e não pode ser substituído; (3) o elemento deve estar envolvido diretamente no metabolismo da planta, fazendo parte de um constituinte essencial (por exemplo, uma enzima), ou exigindo para um passo metabólico específico (por exemplo, em uma reação enzimática). Não podem ser considerados essenciais os elementos minerais cuja presença no meio neutralizam efeitos químicos, físicos e biológicos desfavoráveis, compensando o efeito tóxico de outros, substituindo parcialmente as funções menos específicas de um elemento essencial. Por exemplo, os elementos, que substituem parcialmente a função de manutenção da pressão osmótica (função não-essencial) são denominados benéficos (MARSCHNER, 1995).

2.4 Micronutrientes em Plantas

2.4.1 Boro (B)

O B é absorvido pelas plantas preferivelmente na forma de ácido bórico, sem cargas (H_3BO_3). Possui propriedades intermediárias entre os metais e os não-metais eletronegativos e tem tendência a formar complexos catiônicos dentro da planta, com

compostos orgânicos de configuração cis-diol, com os açúcares e seus derivados, ácido urônico e alguns difenóis abundantes na parede celular (FURLANI, 2004). Seu transporte também ocorre na forma $H_3BO_3^-$, e a ascensão na seiva xilemática é governada principalmente pela transpiração (MARSCHNER, 1995).

O B é essencial para as plantas superiores, no entanto, segundo Findekleer e Goldbach (1996), sua função primária ainda é desconhecida. Desta forma, foi necessária a determinação do local onde a maior parte do boro se encontra na célula para identificar sua função. De acordo com Hu e Brown (1994), em condições limitantes de boro, a quantidade do nutriente presente na parede celular representa no mínimo 95 a 96 % do total de boro presente na célula.

Vários trabalhos como Kobayashi, Kaneda e Kasama (2001); Oneil et al. (1996) têm mostrado que a função fisiológica do boro é a formação de ligações pecticas na parede celular, através da ligação de dois complexos chamados Rhamnogalacturona-II

Segundo o trabalho de Liu (2014), quando se trata de alterações ultra-estruturais relativas à deficiência de boro, ocorre um maior espessamento da parede celular e alterações na lamela média, que é de natureza pectica.

A ausência de B afeta o metabolismo do ácido nucleico e de carboidratos. A presença do B é essencial para manter a integridade estrutural das membranas das plantas, e muitos dos sintomas da deficiência são efeitos secundários causados pelas mudanças na permeabilidade da membrana. A deficiência de B nas plantas aparece primeiro como crescimento anormal dos pontos de crescimento apical, devido à baixa redistribuição nas maiorias das espécies, e/ou como interrupção do crescimento do tubo polínico (WANG et al., 2016).

Alguns dos sintomas de deficiência de B foram descritos por Marschner (1995) e foram caracterizados por um encurtamento do internódio, clorose internerval das folhas mais novas, deformação da lâmina foliar, aumento do diâmetro do pecíolo e do caule, diminuição da formação do botão floral, flores e desenvolvimento irregular do fruto.

Dong et al (2016) descrevem que a deficiência de B aparece primeiramente como crescimento anormal ou retardamento da região apical em plantas de citros. As folhas jovens são deformadas, encarquilhadas e são frequentemente engrossadas e de uma coloração verde azulada; as folhas e caules tornam-se quebradiços; ocorre uma redução e inibição na formação de flores e frutos; afeta a formação do tubo polínico, germinação do pólen e formação do fruto; ocorrência de partenogênese; inibição do crescimento da raiz, necrose no ápice da raiz, folhas jovens encrespadas e atrofiadas tornando-se marrons ou pretos.

Liu et al. (2014) trabalhando em laranja (*Citrus sinensis* L.), observaram a deficiência de B em folhas a nível ultra-estrutural em campo. A omissão deste nutriente resultou em deformação da parede celular e engrossamento da lamela média.

Em mudas de maracujazeiro amarelo, Freitas et al. (2011) observaram a deficiência de B em casa de vegetação sob solução nutritiva, determinou-se os seguintes sintomas: a deficiência resultou em necrose de tecidos meristemáticos na região de crescimento, conduzindo à perda da dominância apical.

2.4.2 Manganês (Mn)

As plantas absorvem o manganês na forma de cátion bivalente (Mn^{+2}). Dentro da célula, Mn^{+2} forma ligações fracas com ligantes orgânicos e pode ser rapidamente oxidado para Mn^{+3} , Mn^{+4} e Mn^{+6} (FURLANI, 2004).

Por causa dessa relativa facilidade de mudança no estado de oxidação, o Mn apresenta importante função nos processos de oxirredução na planta, como o transporte de elétrons na fotossíntese e desintoxicação dos radicais livres de O_2 .

Uma das mais importantes funções manganês está relacionada aos processos de oxidação, especialmente no processo fotossintético (Fotossistema II), conforme descrito por Maschner (1995) e Furlani (2004).

Marschner (1995) descreve que a deficiência de Mn afeta a produção da matéria seca, fotossíntese líquida, e o conteúdo de clorofila. E as plantas são mais susceptíveis

aos danos por temperaturas mais baixas. Em dicotiledôneas, os sintomas de deficiência de Mn são clorose intercostal das folhas mais novas e manchas verdes cinzentadas na base das folhas.

Mengel e Schwarz (2011) escrevem que os cloroplastos são as organelas mais sensíveis à deficiência de Mn. Foram observadas desorganizações do sistema lamelar dos cloroplastos, com volume celular pequeno e dominado pela parede celular. Os tecidos inter epidermais se mostraram enrugados, com clorose internerval nas folhas mais novas.

Epstein e Bloom (2005) relatam que os sintomas de deficiência de Mn variam grandemente de uma espécie para outra. As folhas frequentemente mostram uma clorose entre as nervuras, com as mesmas produzindo um desenho verde em um fundo amarelo ou verde claro assemelhando-se muito com a deficiência de Ferro (Fe). Pode ocorrer ainda manchas ou riscas necróticas nas folhas.

Sabe-se que as espécies de plantas na maioria apresentam os mesmos sintomas. Mudanças de caramboleira foram cultivadas sob diferentes concentrações em solução nutritiva, elas apresentaram anormalidades como clorose internerval nas folhas mais novas, palidez e início de deformação reticulada grossa das nervuras (SCHMIDT; JENSEN; HUSTED, 2016). Outros sintomas foram descritos por Santos et al. (2017) a nível fisiológico como afetação da fotossíntese, refletindo em distúrbios fotoquímicos, mencionando que a estratificação dos sintomas é confinada às folhas recém-emergidas como resultado da baixa mobilidade do Mn no floema que impede remobilização de Mn das folhas mais antigas para as mais jovens.

2.4.3 Ferro (Fe)

A planta absorve o Fe na forma reduzida (Fe^{+2}), e a eficiência nesse processo de aquisição varia entre espécies e genótipos. Algumas plantas possuem maior capacidade de extrusão de prótons na rizosfera, baixando o pH e favorecendo a absorção de Fe^{+2} pelas raízes, e também maior capacidade de complexação do Fe absorvido com ácidos orgânicos, principalmente o ácido cítrico formando citrato-Fe, comumente encontrado no

xilema. O Fe é descrito como um elemento de transição caracterizado pela mudança fácil no seu estado de oxidação (Fe^{+3} / Fe^{+2}) e pela sua habilidade em formar complexos octaédricos, com vários ligantes. Dependendo do ligante, o potencial de oxirredução do Fe varia significativamente, o que confere a esse nutriente uma importância nos sistemas biológicos de oxirredução. Embora o Fe somente seja absorvido através da membrana plasmática na forma reduzida (Fe^{+2}), dentro da planta, o seu principal estado de oxidação nos complexos é a forma oxidada (Fe^{+3}). Existem dois grupos principais de proteínas que contêm ferro na planta: as hemoproteínas e as proteínas com grupos Fe-S (MARSCHER, 1995).

O Fe possui mobilidade na planta. Desta forma é comum no caso de deficiência do elemento, o aparecimento de sintomas inicialmente nas folhas novas, progredindo para a toda planta dependendo da severidade da deficiência. Nas folhas verdes, 80% do Fe está localizado nos cloroplastos na forma de fitoferretina, servindo como reserva no estroma dos cloroplastos (MARSCHNER, 1995).

Mengel e Schwarz (2011), descreveram que a deficiência de Fe é similar à deficiência de magnésio, mas sempre iniciando nas folhas mais novas, com clorose internerval e um fino padrão reticulado frequentemente observado nas folhas novas, as nervuras verdes escuras contrastando com superfície de cor verde brilhante ou amarelada das folhas.

Neumann (2015), estabeleceu que existe efeitos estimuladores (genes), sob concentrações de etileno, em plantas de *Arabidopsis*, deficientes em Fe o qual provoca a emissão de raízes apicais e subapicais. Outros autores como Pestana et al. (2012) avaliaram o efeito da omissão de Fe em morango, verificou-se que em plantas com estratégia I (dicotiledôneas e monocotiledôneas com exceção dos membros da família Poaceae), as raízes desenvolveram uma indução de um quelato Fe (III) em Fe (II), que pode ser tomado por um transportador o qual pode melhorar a disponibilidade do pouco ferro que exista no solo ou substrato.

2.4.4 Zinco (Zn)

O Zinco é absorvido pelas plantas na forma catiônica (Zn^{+2}); ao contrário dos outros micronutrientes metálicos, não está sujeito à mudança de valência, ocorrendo dentro das plantas somente na forma de Zn^{+2} (MARSCHNER, 1995).

Este nutriente desempenha diversas funções metabólicas, dentre elas a atividade de uma série de enzimas (KABATA-PENDIAS, 2004) e também como integrante estrutural de uma grande variedade de proteínas (EPSTEIN; BLOOM, 2005). Para os autores os sintomas clássicos de deficiência de Zn são folhas pequenas e formação de rosetas. Ambos os sintomas resultam da dificuldade dos tecidos em crescer normalmente. A dificuldade das folhas em expandir-se as tornam pequenas e a dificuldade dos internódios em alongar-se, levam as folhas de nós sucessivos a se aproximarem, dando origem ao sintoma de “roseta”. Em algumas espécies, as folhas se tornam cloróticas, mas em outras elas podem tornar-se verde escuras ou azul-esverdeadas, torcidas e necróticas. O florescimento e frutificação são muito reduzidos sob condições de severa deficiência de Zn e a planta toda pode ficar raquítica e disforme.

Sorreano et al. (2011) descreveu os sintomas de deficiência de zinco em *Croton urucurana*, avaliando seu efeito na composição mineral das folhas e no crescimento; observou-se que houve uma formação de tufo terminal e internódio curtos, as mudas perderam uma dominância apical, acarretando uma redução do crescimento. As plantas mais jovens mostraram-se pequenas, estreitas e lanceoladas, com clorose internerval.

Neto, (2014) avaliaram a influência do zinco sobre o teor, acúmulo, eficiência e absorção de macros e micronutrientes em porta-enxertos na cultura da caramboleira submetidos a diferentes doses. Os autores concluíram que as doses de zinco diminuíram os teores de Mn e aumentou a eficiência de utilização de N, Ca, Mg e B; refletindo no sinergismo do Zinco com os outros elementos.

2.4.5 Cobre (Cu)

O cobre é absorvido pelas raízes na forma de Cu^{+2} , sendo de mobilidade variável no floema, dependendo da espécie. É um elemento de transição similar ao ferro, com

habilidade para formação de quelatos estáveis e facilidade para o transporte de elétrons (Cu^{+2} / Cu^{+}), sendo, portanto, bastante relevante nos processos fisiológicos de oxidorredução (FURLANI, 2004).

Na deficiência de Cu os sintomas mais comuns são crescimento retardado, distorção e murchamento das folhas mais novas, necrose do meristema apical, branqueamento das folhas mais novas e a lignificação prejudicada da parede celular (Marschner, 1995).

Mengel e Kirkby (1987) descreveram que a deficiência de Cu afeta a viabilidade dos grãos de pólen, a diminuição dos internódios, folhas finas e torcidas, ápices esbranquiçados, forma “pêndula” das árvores e redução da síntese de lignina.

Epstein e Bloom (2005) relatam que a deficiência de Cu varia grandemente dependendo da espécie. Folhas podem ficar cloróticas ou com um tom azul-esverdeado escuro, com margens enroladas para cima.

Salvador, Moreira e Muraoka (1999) observaram em plantas de *Psidium guajava* a deficiência de Cu em casa de vegetação, A carência desse nutriente provocaram cloroses esparsas, com deformação nas folhas mais novas apresentando-se enrugadas e com saliências das nervuras secundárias. Houve morte precoce das gemas terminais, emissão de gemas vegetativas axilares múltiplas, originando brotações com folhas diminutas e mais arredondadas, retorcidas, estreitas, tamanho reduzido e com clorose internerval.

Mattos Júnior et al. (2010) descreveram os sintomas de deficiência de cobre em mudas de citros sob diferentes porta-enxertos, além de discutir as funções dele, eles citaram que a atividade do cobre no metabolismo vegetal é inversamente proporcional à concentração de íon ligado a complexos protéicos, o que determina reduções de transporte eletrônico, atividade enzimática e fotossíntese.

2.4.6 Molibdênio (Mo)

O Molibdênio é um elemento de transição que é absorvido nas plantas na forma do ânion molibdato, em geral no estado de oxidação mais elevado (Mo^{+6}), mas pode ocorrer também como Mo^{+5} e Mo^{+4} (FURLANI, 2004).

A exigência de Molibdênio pelas plantas é muito pequena, quando comparada com outros nutrientes. O molibdênio está envolvido na redução do nitrato e fixação de nitrogênio, dependendo muito da forma de absorção de nitrogênio pelas plantas (absorção de NO^{3-} , NH^{4+} , e/ou fixação de N_2) (FURLANI, 2004).

Segundo Mendel (2011), plantas deficientes em molibdênio, quando nutridas com nitrogênio na forma nítrica: apresentaram as seguintes alterações no cloroplasto: aumento e dilatação acompanhada por redução no número de granas e tilacóides menores. O acúmulo de nitrato é, não obstante, um fator que pode ter causado este desarranjo do cloroplasto.

Em algumas espécies de plantas, os sintomas mais típicos da deficiência de Mo seria uma drástica redução e irregularidades na formação da lâmina foliar conhecido como “Whiptail”, causada pela necrose nos tecidos e insuficiente diferenciação dos feixes vasculares no estágio inicial do desenvolvimento da folha. Clorose e necrose ao longo da nervura principal das folhas mais velhas e em folhas novas podem refletir os mesmos tipos de distúrbios, ocorrendo entretanto, nos diferentes estágios de desenvolvimento das folhas (MARSCHNER, 1995).

Maia et al. (2014) avaliaram a omissão de molibdênio na cultura de Pinhão manso (*Euphorbia curcas*), cultivadas em solução nutritiva, mostrando que a omissão do Mo reduziu o teor do potássio e aumentando o teor de fósforo; além de mostrar sintomas como clorose internerval e encurtamento dos bordos foliares, sendo que as raízes não apresentaram alteração, iniciando-se os sintomas nas folhas mais velhas.

2.5 Funções e sintomas de deficiências de micronutrientes em plantas

Por definição, os nutrientes minerais têm funções específicas e essências no metabolismo da planta. Dependendo da quantidade requerida de um dado nutriente, o elemento pode ser classificado, como macronutriente ou micronutriente. Outra classificação, baseada nas propriedades físico-químicas, divide os nutrientes em metais (potássio, cálcio, magnésio, ferro, zinco, cobre, molibdênio e níquel) e não metais (nitrogênio, enxofre e cloro). As duas classificações são inadequadas uma vez que cada nutriente mineral pode realizar uma variedade de funções, algumas destas funções são pouco correlacionadas, com a quantidade requerida ou com as propriedades físico-químicas. Um nutriente mineral pode funcionar como constituinte de uma estrutura orgânica, como um ativador de reações enzimáticas, ou como transportador de cargas e como constituintes de estruturas orgânicas, predominantemente envolvidos na função catalítica de enzimas (MARSCHNER, 1995).

O suprimento inadequado de um elemento essencial resulta em distúrbio nutricional que se manifesta por sintomas de deficiência característicos (TAIZ; ZIEGER, 2004), que podem aparecer em folhas, caules e frutos.

O motivo pelo qual o sintoma é típico do elemento deve-se ao fato de um dado nutriente exercer sempre as mesmas funções qualquer que seja a espécie (Marschner, 1995). Entretanto, deve-se ter em mente que, antes da manifestação visível da deficiência, o crescimento e a produção já poderão estar limitados, é o que se chama de “fome oculta”. O sintoma visível é o fim de uma série de eventos, que têm início em alterações em nível molecular, agrava-se para modificações subcelulares, intensifica-se com alterações celulares e atinge o tecido, modificando-o, ocasionando a expressão de sintomas visíveis (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

A classificação mais conhecida e aceita na última década, quanto à mobilidade no floema, dividiu os nutrientes em: (a) móveis – N, P, K, Mg e Cl; (b) poucos móveis – S, Cu, Fe, Mn, Zn e Mo; e (c) imóveis - Ca e B (MARSCHNER, 1983).

Depois de 1995, quando foi descoberto que o boro pode ter expressiva mobilidade no floema dependendo da espécie vegetal, embora na maioria das espécies tenha mobilidade restrita, e com base na composição da seiva do floema, determinada com auxílio de traçadores isotrópicos, Marschner (1995) propôs uma classificação geral dos nutrientes em: (a) de alta mobilidade – N, P, K, Mg, S e Cl; (b) de mobilidade intermédia – Fe, Zn, Cu, B e Mo; e (c) de baixa mobilidade – Ca e Mn.

2.6 Importâncias dos Micronutrientes em Maracujá

As informações na literatura sobre nutrição mineral do maracujazeiro são muito restritas, principalmente com relação às exigências em alguns nutrientes, época e modo de aplicação, marcha de absorção, sintomatologia das deficiências, diagnose foliar e respostas à aplicação de macro e micronutrientes (Oliveira et al., 2010). Todavia, autores como Haag et al. (1973), apresentaram alguns resultados referentes à nutrição, acumulação de nutrientes nos órgãos da planta e sua translocação para os frutos. Já Aguirre (1977) observou que dos micronutrientes o ferro é o mais exigido, seguido de boro, manganês, zinco, cobre e molibdênio. De acordo com Primavesi e Malavolta (1980) o maracujazeiro amarelo apresenta as seguintes exigências nutricionais até os 262 dias após plantio: $N > K > Ca > S > Mg > P > B > Mn > Zn > Cu > Mo$, sendo que somente as deficiências de N, S, Ca e Cu mostraram um efeito acentuando no desenvolvimento das plantas de maracujá.

2.7 Clorofila e SPAD

Vários estudos demonstraram que a estimativa quantitativa da clorofila nas folhas e seu conteúdo fornece uma avaliação precisa (Mas indireta) na planta; no passado a concentração de nitrogênio na folha tem sido usado para monitorar o estado do N das culturas (FU et al., 2014; HUGHES et al., 2016). No entanto este método, no qual utiliza amostragens de folhas para análise laboratorial, é destrutiva, demorada e caro. As medições fornecem de clorofila fornece resultados rápidos, entre os métodos indiretos existentes, o mais adotado é a detecção baseada no clorofilómetro.

2.8 Alterações Ultra-estruturais

As alterações ultra-estruturais em células, na maior parte das vezes, antecedem os sintomas visuais observados posteriormente nas plantas. As causas para que ocorram estas alterações podem ser diversas, como exemplo podemos citar os choques de temperatura (HUANG et al., 2013), bem como o estresse hídrico (ZHANG et al., 2015), salinidade (BASTÍAS et al., 2013), e fatores relacionados a nutrição mineral de plantas (SILVA et al., 2008).

Os problemas relacionados com deficiências nutricionais e seus sintomas, começam com alterações moleculares dos tecidos, seguindo para as lesões subcelulares, até chegarmos, até chegarmos a alterações ultra-estruturais que antecedem as deformações de tecido (folhas), e podem ser antecipadamente identificadas por meio da técnica de microscopia eletrônica (EPSTEIN; BLOOM, 2005)

2.9 Toxicidade por Níquel (Ni)

Presente em grande número de plantas, o Ni foi descrito por Dixon et al. (1975) como componente da enzima uréase, despertando na comunidade científica o interesse acerca da sua função em plantas. Desde então, diversas pesquisas relatam respostas à fertilização com Ni, principalmente em soluções nutritivas e médio de cultura (MARSCHNER, 1995; NEVES et al., 2007; MARTINEZ-RUIZ E MARTINEZ-JERÓNIMO, 2015).

Considerando-se que o Ni tem função direta na germinação de sementes, que na sua falta esta é comprometida e que ele não pode ser substituído por outro elemento, fez-se necessário o reconhecimento de sua essencialidade. A partir do artigo de Brown et al. (1987), o Ni passou a ser considerado um elemento essencial, e na publicação de Marschner (1995), ele foi incluído na lista dos micronutrientes de Plantas.

Usualmente, o Ni não entra na composição das soluções nutritivas consideradas completas; entretanto, Taiz e Zeiger (2004) apresentaram uma variação da solução de Hoagland e Arnon (1950).

O teor normal de Ni na matéria seca de plantas varia de 0,1 a 5 mg kg⁻¹, dependendo da espécie, parte da planta, estágio de maturidade na época de amostragem, teor no solo, acidez do solo entre outros fatores. Em geral, a toxidez de Ni se expressa quando a sua concentração na matéria seca das plantas acumuladoras e hiperacumuladoras (GONZÁLEZ et al., 2008). Uma vez que o Ni é absorvido na forma Ni⁺² sua absorção, em altas concentrações, diminuiu significativamente a absorção de outros cátions tais como Mg, Fe, Mn, Cu, e Zn (de PAIVA et al., 2003; SYAM et al., 2016).

2.10 Microscopias eletrônica de transmissão

Os estudos relacionados aos sintomas de deficiências de nutrientes têm sido descritos visualmente. Entretanto as alterações ultra-estruturais podem ser inferidas com a técnica de microscopia eletrônica (EPSTEIN; BLOOM, 2005). Uma das limitações da microscopia ótica é o aumento máximo conseguido que fica em torno de 2.000 vezes. Como consequência, pequenos detalhes estruturais não são possíveis de serem detectados através desta técnica. A microscopia eletrônica de transmissão (MET) se apresenta como uma técnica mais adequada, pois permite alcançar aumentos muitos superiores ao da microscopia ótica.

O microscópio eletrônico de transmissão é usado para obter imagens de estruturas internas pela transmissão de elétrons através de seções ultrafinas de tecidos incluídos em resina apropriada.

Este método pode verificar os efeitos da deficiência e toxicidade de qualquer elemento, na organização das estruturas celulares, pois em condições de deficiência e toxicidade, as modificações subcelulares sempre precedem os sintomas visíveis (MALAVOLTA et al., 1997; DONG et al., 2016; LIU et al., 2014).

2.11 Medições de variáveis fisiológicas através do Analisador de Gás por Infravermelho (IRGA)

O termo fotossíntese significa literalmente “síntese pela luz”. Os organismos fotossintéticos utilizam energia solar para sintetizar compostos orgânicos que não podem ser formados sem a captação de energia. A energia na forma destes compostos pode ser

usada posteriormente nas reações celulares das plantas, servindo também como fonte de energia para as demais formas de vida. É no mesófilo foliar onde ocorre a maior parte da atividade fotossintética em plantas superiores. Nos cloroplastos das células do mesófilo, encontram-se as clorofilas que são pigmentos verdes especializados na absorção de luz. Durante a fotossíntese, a planta usa energia solar para oxidar a água, resultando na evolução de O_2 e redução de CO_2 a carboidratos e açúcares primários (SPERLICH, 2015).

A transpiração é um fenômeno bastante influenciado pelas condições do ambiente, principalmente a temperatura e o déficit de saturação do ar. Sob idênticas condições, diferenças neste parâmetro podem indicar um mecanismo estomático mais ou menos eficiente, implicando na economicidade de água pela planta (FLEXAS; MEDRANO, 2002).

O Infrared gas analyzer (IRGA) é um aparelho que mede a assimilação de CO_2 e H_2O pela folha. Com o advento do aparelho Portable Photosynthesis System modelo Li 6400 (Li-COR, Lincoln, USA), tornou-se possível à realização de medições em casa de vegetação ou mesmo no campo. O princípio básico de funcionamento deste aparelho está na propriedade do CO_2 e do H_2O em absorver o infravermelho. A medida da taxa de CO_2 neste sistema é baseada nas diferenças de concentração de CO_2 entre o ar que entra e o ar que deixa a câmara fotossintética. A transpiração também pode ser medida da mesma forma. Os controles das concentrações de H_2O e CO_2 são realizadas através de sistemas eletromecânicos e podem direcionar o fluxo de ar inicial (Contendo CO_2 e H_2O) em tubos contendo soda calcária (para retenção do CO_2 e/ou drierite (para retenção de H_2O), antes de passar pela câmara fotossintética (HELBIG et al., 2016).

3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido em condições de casa de vegetação no departamento de Tecnologia da Universidade Estadual Paulista – UNESP Câmpus Jaboticabal - SP, localizada a uma altitude de 610 metros, com as coordenadas geográficas (21°15'22" S e 48°18'58" W); no período de julho até novembro de 2015. O estudo foi realizado com mudas de maracujazeiro-amarelo (*Passiflora edulis Sims*), Hibrido BRS Gigante Amarelo, preenchidos com vermiculita fornecendo-se solução nutritiva.

Durante a condução do experimento; obtiveram-se os dados de temperatura média do ar e umidade relativa do ar, coletados diariamente dentro da casa de vegetação, com o auxílio de um termo-higrômetro digital (Instrutemp®), no período do transplântio até a coleta das plantas de maracujá; a temperatura média diária das máximas foi nos meses de Setembro até novembro de 37,6 °C, a média das temperaturas diárias mínimas foi 20,7 °C, e a temperatura média diárias, com uma média igual a 29,2 °C (Figura 1).

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com cinco (5) repetições e oito (8) tratamentos, com duas plantas por unidade experimental; os tratamentos foram os seguintes: 1) Tratamento Completo (Aplicação de N, P, K, Ca, S, Mg, B, Mn, Fe, Zn, Cu e Mo); 2) O tratamento completo com adição de Ni; 3) Tratamento corresponde a aplicação completa de elemento nutricionais sem aplicação de Boro (B), 4) Tratamento completo menos Manganês (Mn), 5) Tratamento completo sem aplicação Ferro (Fe); 6) Tratamento completo sem aplicação de Zinco (Zn); 7) Tratamento completo com omissão de Cobre (Cu) e 8) Tratamento completo com omissão de Molibdênio (Mo), (Tabela 1).

Prepararam-se as soluções estoques armazenadas em recipientes de plástico, evitando a contaminação por borossilicatos, de onde eram retidas as quantidades necessárias para as aplicações diárias. Todas as soluções nutritivas foram preparadas com o uso de água deionizada duas vezes.

Tabela 1. Solução Nutritiva Hogland e Arnon (1950). Composição (mL L⁻¹) das soluções nutritivas completa (Testemunha) e com omissão de micronutrientes (-B, -Mn, -Fe, -Zn, -Cu, -Mo) e adição de Níquel (Ni)

Substância	Testemunha	-B	-Mn	-Fe	-Zn	-Cu	-Mo	+ Ni
KH ₂ PO ₄ .1 mol L ⁻¹	1	1	1	1	1	1	1	1
KNO ₃ .1 mol L ⁻¹	5	5	5	5	5	5	5	5
Ca(NO ₃) ₂ .1 mol L ⁻¹	2	2	2	2	2	2	2	2
MgSO ₄ .1 mol L ⁻¹	2	2	2	2	2	2	2	2
Micronutrientes ¹	1	-	1	1	1	1	1	1
Micronutrientes - B	-	1	-	-	-	-	-	-
Micronutrientes - Mn	-	-	1	-	-	-	-	-
Micronutrientes - Fe	1	-	-	1	-	-	-	-
Micronutrientes - Zn	-	-	-	-	1	-	-	-
Micronutrientes - Cu	-	-	-	-	-	1	-	-
Micronutrientes - Mo	-	-	-	-	-	-	1	-
Micronutrientes + Ni	-	-	-	-	-	-	-	1

¹Solução estoque: 2,86 g H₃BO₃; 1,81 g MnCl₂. 4H₂O; 0,10 g ZnCl₂; 0,04 g CuCl₂; 0,02 g H₂MoO₄. H₂O

1 g EDDHMA (Ácido Etilén-Diamino Di-orto-Hidroxi-para-Metil-fenil-acético); 0,03 mg L⁻¹ NiSO₄.6H₂O

A dose de Níquel foi estabelecida de acordo a Taiz e Zeiger (2004) que apresentaram uma variação da solução Hoagland & Arnon, na qual é fornecido 0,5 µmol L⁻¹ de Ni (0,03 mg L⁻¹), aplicado na forma de NiSO₄.6H₂O.

A dose de Níquel foi estabelecida de acordo a Taiz e Zeiger (2004) que apresentaram uma variação da solução Hoagland e Arnon (1950), na qual foi fornecido $0,5 \mu\text{mol L}^{-1}$ de Ni ($0,03 \text{ mg L}^{-1}$), aplicado na forma de $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$; foram aplicados a solução completa e modificada a fonte de ferro EDTA para EDDHMA (Ácido Etilén-Diamino Di-orto-Hidroxi-para-Metil-fenil-acético), já que possui maior solubilidades e manutenção de altas quantidades de ferro quelatado na solução (ALVAREZ-FERNANDEZ et al., 1996). Ao final da solução de Hoagland e Arnon (1950) se aplicaram as seguintes concentrações dos micronutrientes no experimento: $0,5 \text{ B mg.dm}^{-3}$; $0,03 \text{ Ni mg. dm}^{-3}$; $0,5 \text{ Mn mg. dm}^{-3}$; $1,8 \text{ Fe mg.dm}^{-3}$; $\text{Zn } 0,05 \text{ mg.dm}^{-3}$; $0,019 \text{ Cu mg.dm}^{-3}$; $0,011 \text{ Mo mg.dm}^{-3}$

O genótipo escolhido foi o Gigante amarelo BRS de Embrapa material usado em pesquisas em Brasil como padrão e por estar acima da média nacional (MELETTI, 2011). Cada unidade experimental constou de dois vasos de polipropileno de 8 dm^{-3} com tampa (diâmetro superior: 26 cm; diâmetro inferior: 19 cm; altura: 23 cm), contendo 6 dm^{-3} de Vermiculita de textura média (90 a 100% das partículas com granulometria: diâmetro médio dos grãos - entre $0,30 \text{ mm} < \text{SF} < 2,40 \text{ mm}$), com Massa Específica Aparente: 80 a 150 kg m^{-3} . A retenção de solução na vermiculita foi de $495,6 \text{ dm}^{-3} \text{ dm}^{-3}$. A vermiculita foi lavada duas vezes com água deionizada, e lavada uma vez com HCl 1%, para desinfecção; no qual para determinar que não houvesse resíduos ou traços de cloro após a aplicação do HCl, se realizou a lavagem e o teste com Nitrato de Prata (AgNO_3); com uma concentração de 1 mol L^{-1} , aplicando até os vasos pingar e observando que a água não ficara de cor branca.

A semeadura foi feita em bandejas de polipropileno de 50 células, em substrato vermiculita de textura média, a semeadura foi realizada na profundidade de aproximadamente 1,0 cm. Diariamente foi umedecida, com água deionizada duas vezes. Aos 40 dias após a semeadura quando as mudas apresentavam dois pares de folhas completamente formadas, foram transplantadas para os vasos, tendo como substrato vermiculita. A partir do transplante foi aplicado durante 15 dias, 350 cm^3 de solução nutritiva proposta por Hoagland e Arnon (1950), com 25% de força iônica aplicando-o

para todos os tratamentos, logo dos 15 após de transplante (DAT) até 35 DAT 400 cm³ e 450 cm³ de 35 até 60 DAT com 100% de força iônica. A solução foi mantida com valor de pH 6,0 ± 0,1. Com o uso de soluções de HCl 1,0 mol dm⁻³ ou NaOH 1,0 mol dm⁻³. Igualmente se avaliou a condutividade elétrica mantendo-se em uma faixa ótima de 1 a 2 dS m⁻¹ segundo (WORTMAN, 2015; LIOPA-TSAKALIDI et al., 2015 e JUNIOR et al., 2008).

Na base do vaso, havia orifícios e um prato de polipropileno (150 cm³), permitindo a drenagem e a retenção da solução nutritiva. Ao final do dia, a solução era retornada aos vasos, manualmente.

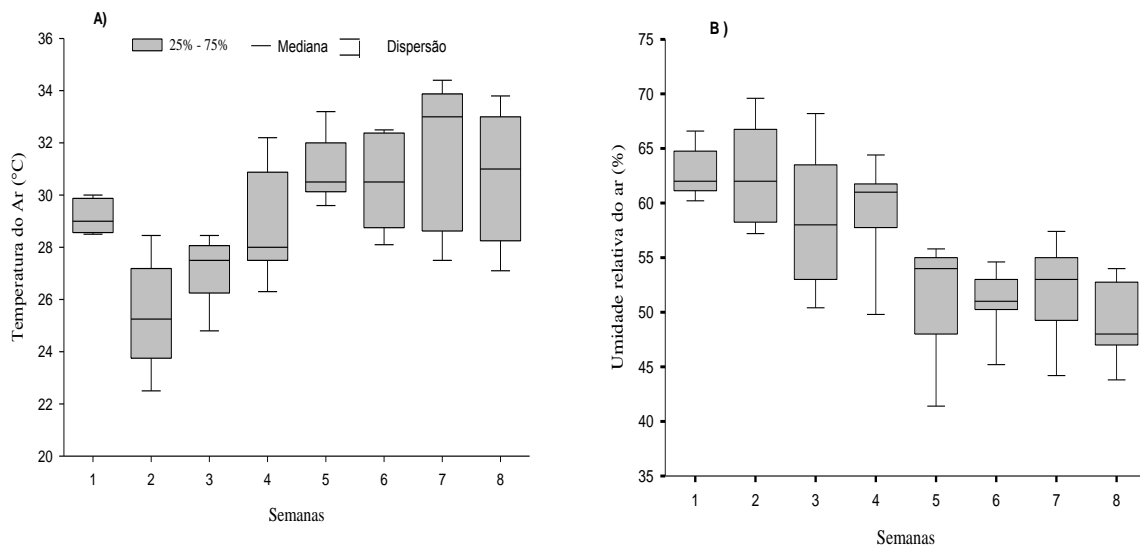


Figura 1. Valores de temperatura média do ar (A), e umidade relativa do ar (B) na casa de vegetação, durante o desenvolvimento do experimento.

3.1 Avaliações do experimento

3.1.1 Caracterização visual: Durante o período experimental foi obtida às imagens das plantas com sintomas de deficiência de Boro, Zinco, Manganês, Ferro, Cobre, Molibdênio e toxicidade do Níquel, comparada com o tratamento sem a desordem nutricional acompanhado da descrição dos sintomas visuais.

3.1.2 Identificações de pêlos radicais e subapicais: Coletou-se uma grama de raiz por planta, em quatro plantas por tratamento, logo após foram armazenadas em solução de álcool 20% e conservadas sob refrigeração a $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$, posteriormente as raízes foram submetidas por cinco minutos a coloração com azul de metileno 0,05%, em seguida lavadas em água corrente, para retirada do excesso da coloração, colocadas em lâminas para observação no microscópio óptico, de acordo a metodologia feita por (ROMERA; FREJO; ALCÁNTARA, 2003).

3.1.3 Medida do índice de cor verde: Tomando-se a média das leituras no terço superior, mediano e inferior da quarta folha, completamente desenvolvida, a partir do ápice, sendo esta, considerada a folha diagnose de mudas de maracujazeiro (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997; FREITAS et al., 2011). , as leituras foram feitas no terço médio das folhas, entre as 11 e 12 horas, uma vez por semana, obtidas com auxílio de um aparelho medidor de índice de cor verde (ClorofiLOG – CFL 1030 - Chlorophyll Meter FALKER).As medições se realizaram semanalmente.

3.1.4 Matérias seca da parte aérea e das raízes: foram coletadas duas plantas por unidade experimental, logo após as plantas foram separadas em parte aérea e raízes, em seguida lavadas e acondicionadas em sacos de papel, secas em estufa de circulação forçada de ar ($65 \pm 50^{\circ}\text{C}$) até obter massa constante. Após a secagem, obteve-se a massa seca da parte aérea e das raízes (g por planta).

3.1.5 Determinações dos teores de nitrogênio, fosforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, boro, zinco, ferro, manganês, cobre, molibdênio e níquel; na parte aérea e nas raízes: Foram feitas observações visuais dos sintomas de toxidez e, depois de colhido, o material vegetal foi separado em raízes, caule e folhas, lavado em água corrente e destilada, seco em estufa a 70°C , até peso constante; a matéria seca correspondente a cada uma das partes foi pesada e avaliada. Após obtenção do extrato nítrico-perclórico, foram determinados os teores de P por colorimetria; Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn e Ni, por espectrofotometria de absorção atômica; K, por fotometria de chama; S,

por turbidimetria do sulfato de bário; e N total, pelo método semimicro Kjeldahl (MALAVOLTA et al., 1997).

3.1.6 Determinação de pelos radicais e subapicais por meio de microscópio ótico:

Coletou-se um grama de raiz por planta, em quatro plantas por tratamento, logo após foram armazenadas em solução de álcool 20% e conservadas sob refrigeração a -70 °C, posteriormente as raízes foram submetidas por cinco minutos a coloração com azul de metileno com uma concentração de 0,05%, em seguida lavadas em água corrente, para retirada do excesso da coloração, colocadas em lâminas para ser observadas em microscópio óptico, de acordo a metodologia feita por Romera et al. (2003).

3.1.7 Determinação de IRGA: Aos 60 DAT, quando as mudas apresentavam de 8 a 10 folhas verdadeiras vigorosas e com emissão da primeira gavinha, foram realizadas avaliações na quarta folha, completamente desenvolvida, a partir do ápice, em duas plantas por unidade experimental. As variáveis avaliadas foram: a relação da concentração interna e externa de CO₂ (C_i – Concentração de CO₂ nos espaços intercelulares e C_a – Concentração de CO₂ no ambiente - ($\mu\text{mol mol}^{-1}$)) ; transpiração ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$); condutância estomática ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e fotossíntese ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), por meio de um aparelho analisador de gases infravermelho (LICOR, Inc., LI-6400), sob concentrações de CO₂ ambiente ($372 \pm 10 \text{ mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), com fluxo de fótons fotossinteticamente ativos de $1.200 \text{ mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, entre as 7 e 8 h.

3.1.8 Análise ultra-estrutural do mesófilo foliar no maracujazeiro: Na ocasião do surgimento dos sintomas de deficiências característico do nutriente, avaliou-se as modificações na estrutura da célula no mesófilo foliar do maracujá com e sem B, Mn, Fe, Zn, Cu, Mo, adição de Níquel e tratamento completo, a partir da coleta de dez folhas completamente expandida. Nas folhas avaliaram-se as estruturas celulares a partir do uso da microscopia eletrônica de transmissão, realizando-se a coleta do limbo foliar (1 a 2 mm²) no tratamento com ausência dos micronutrientes e o tratamento completo. Em seguida, procedeu-se ao preparo das amostras com a desidratação e fixação utilizando-se o método descrito por Wullschleger e Oosterhuis (1987) e realizou-se a visualização

das estruturas no microscópio eletrônico de transmissão Jeol, JEM 1010, para serem observadas e documentadas.

3.1.9 Análise estatística: Os resultados obtidos para os teores dos macros e micronutrientes, matéria seca da parte aérea e raiz foram submetidos à análise de variância, e quando o teste F foi significativo a no mínimo 5% de probabilidade, aplicou-se o teste de Tukey, para comparação de médias usando-se o software estatístico SAS (SAS, 2000).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização das deficiências dos micronutrientes e toxicidade de Níquel

4.1.1 Níquel (Ni)

A adição de níquel provocou sintomas de toxicidade que foram visíveis aos 45 dias após ao transplante. Houve resposta negativa à aplicação de Ni com a única dose avaliada. As mudas acumularam menos matéria seca do que o tratamento completo, indicando efeito fitotóxico do elemento Tabela 2, além disso o teor na folha diagnose foi de 96 mg kg⁻¹ (Tabela 3), mostrando toxidez quando as plantas apresentam teores acima de 50 mg kg⁻¹, com exceção das espécies acumuladoras e hiperacumuladoras (ADRIANO, 1986; MARSCHNER, 1995).

Tabela 2. Matéria seca da parte aérea e raiz de plantas de *Passiflora edulis* Sims, desenvolvidas em soluções nutritivas com tratamento completo, adição de Níquel (Ni) e omissão de Boro (B), Manganês (Mn), Ferro (Fe), Zinco (Zn), Cobre, (Cu) e Molibdênio (Mo) respectivamente.

Tratamentos	MSPA ⁽¹⁾	MSPR ⁽²⁾	Total
	-----g planta ⁻¹ -----		
+ Ni	1,06d	0,67b	1,73d
- B	1,19c	0,37e	1,56e
- Mn	1,43b	0,56c	1,99b
- Fe	1,51b	0,52d	2,03b
- Zn	0,29f	0,13g	0,42g
- Cu	0,45e	0,19f	0,64f
- Mo	1,22c	0,66b	1,88c
Completo	2,29a	0,79a	3,08a
C.V (%)	2,73	4,7	7,95

Médias seguidas por letras distintas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; ⁽¹⁾MSPA: Matéria seca da parte aérea; ⁽²⁾MSPR: Matéria seca da parte radicular.

Tabela 3. Teores de macronutrientes e de Ni, B, Mn, Fe, Zn, Cu e Mo, na matéria seca de folhas de *Passiflora edulis* Sims, desenvolvidas em soluções nutritivas com adição de Ni, omissão de micronutrientes, e tratamento completo.

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S	Ni	B	Mn	Fe	Zn	Cu	Mo
	-----g kg ⁻¹ -----						----- mg kg ⁻¹ -----						
+ Ni	26,9e	0,92f	13,1c	6,6b	0,8d	2,4c	96,0a	17,7b	23,14c	46,8c	35,4b	2,3b	1,1ab
- B	48,9c	1,3e	17,2b	5,9b	2,7b	2,4c	0,09b	11,6c	117,1a	133,5b	55,6a	9,9a	1,1ab
- Mn	69,6a	2,2d	25,4a	14,4a	2,4c	2,6b	0,08b	43,7a	18,2c	130,7b	53,6a	10,4a	1,1ab
- Fe	32,9d	2,4c	25,4a	14,2a	2,8a	2,8a	0,08b	43,1a	115,8a	29,9d	54,0a	10,2a	1,1ab
- Zn	32,9d	2,8a	25,6a	14,8a	2,7b	2,8a	0,31b	43,3a	121,8a	139,2a	12,8c	11,6a	1,1ab
- Cu	32,9d	2,6b	27,4a	14,8a	2,7b	2,7a	0,12b	44,9a	120,0a	139,6a	56,0a	0,74b	1,1ab
- Mo	33,3d	2,6b	24,6a	14,6a	2,7b	2,8a	0,06b	44,2a	92,1b	135,6b	56,0a	10,3a	1,0c
Completo	48,4b	2,4c	25,4a	14,2a	2,8a	2,7a	0,00b	43,3a	116,0a	134,0b	54,8a	10,1a	1,16a
C.V (%)	6,09	8,79	8,29	8,56	6,82	6,08	14,96	4,64	3,88	2,69	5,87	12,24	7,07

Médias seguidas por letras distintas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; ⁽¹⁾MSPA: Matéria seca da parte aérea; ⁽²⁾MSPR: Matéria seca da parte radicular.

De acordo com Mitchell (1945), estabeleceu-se que os teores adequados de níquel nas plantas estão na faixa de 0,1 a 5 mg kg⁻¹; indicando muito abaixo dos aqui verificados. Nas folhas novas foi observada clorose inicial a qual evoluiu para uma clorose geral, seguida de perda da cor ficando as folhas brancas como consequência da redução do teor de clorofila devido ao menor número e tamanho dos cloroplastos (MOLAS, 2002), como se pode observar na Figura 2.

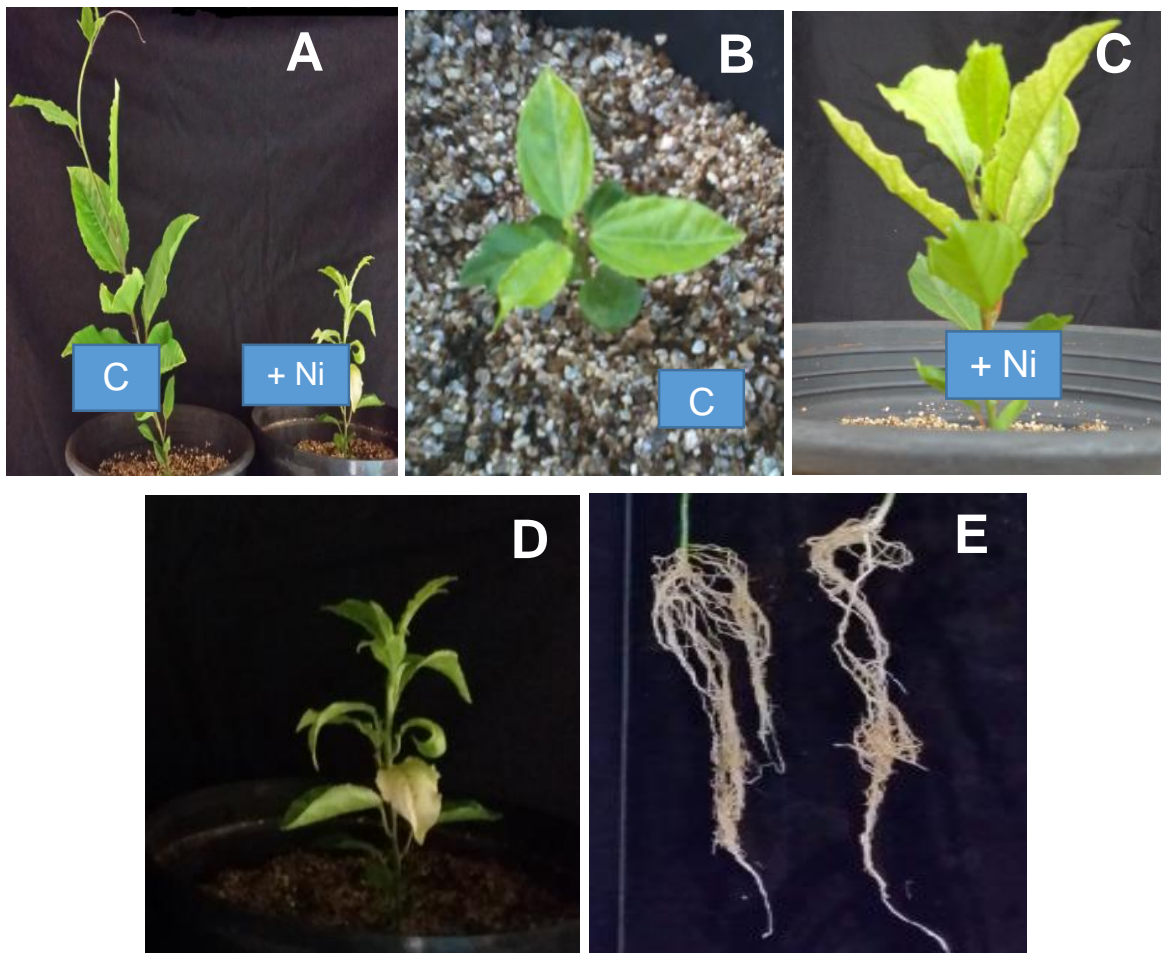


Figura 2. Sintomas de fitotoxicidade de níquel. Na parte área das plantas de maracujá (A), Comparação altura nos tratamentos completo (C) e completo com adição de Níquel (+Ni) (B) Folha nova com início de sintomas de fitotoxicidade (C) Clorose geral na muda de maracujá (D) Estado avançado do sintoma de fitotoxidez (E) Desenvolvimento radicular nos tratamentos completo (- C) e completo com adição de Níquel (+Ni).

Os efeitos da fitotoxicidade do Ni são pouco conhecidos e estudados. Neste experimento constatou-se que altos teores do elemento no tecidos foliar inibem a fotossíntese e a respiração; efeitos que se relacionam com a lesões observadas, inibição

do crescimento, clorose, necrose e outros sintomas para muitas espécies vegetais (GUPTA, 2001). Em algumas espécies como ipê roxo, umbuzeiro, feijoeiro, foram encontrados resultados similares havendo redução nos teores foliares de macronutrientes (PAIVA et al., 2003). Com relação aos micronutrientes o Ni em altas concentrações, diminuiu significativamente a absorção de cátions bivalentes (Fe, Mn, Cu e Zn), mostrando competição; os mesmos resultados foram obtidos por outros pesquisadores (PALACIOS et al., 1998; ATTA-ALY, 1999).

4.1.2 Boro (B)

Os sintomas de deficiência de boro (B), foram observados ao final do experimento, 55 DAT no tratamento com omissão do elemento. As folhas novas exibiram deformação e espessamento, evoluindo para encarquilhamento e clorose na maior parte delas (Figura 3); Estes sintomas de deficiência indicam que a mobilidade do B em maracujazeiro é provavelmente baixa, como também ocorre em outras espécies (SIEBENEICHLER et al., 2005; WANG et al., 2016), gerando-se problemas a nível ultra-estrutural como o engrossamento da parede celular e da lamela média (SILVA et al., 2008); tais sintomas não ocorrem em plantas que produzem polióis (álcoois derivados de açúcar), como é o caso de algumas espécies que produzem compostos como sorbitol, manitol e dulcitol (KOT et al., 2016).

Os pecíolos das folhas novas, apresentaram pouco desenvolvimento, mostrando-se curtos e grossos. Também se observou diminuição no crescimento da planta em

comparação com o tratamento completo (Tabela 3), refletindo na produção de matéria seca da parte aérea e raiz ($1,6 \text{ g planta}^{-1}$) que diferiu em relação ao tratamento completo ($3,1 \text{ g planta}^{-1}$).

As plantas cultivadas em solução nutritiva com omissão de B apresentaram baixo teor do nutriente na folha, sendo $11,6 \text{ mg kg}^{-1}$ isto de acordo a outros estudos feitos com mudas de maracujá (FONSECA et al., 2005; PRADO et al., 2006). Houve diferença com o tratamento completo, que apresentou teor adequado ($43,3 \text{ mg kg}^{-1}$); de acordo a alguns autores (PRIMAVESI; MALAVOLTA, 1980; CARVALHO et al., 2001; FREITAS et al., 2011; JUNIOR, 2015).

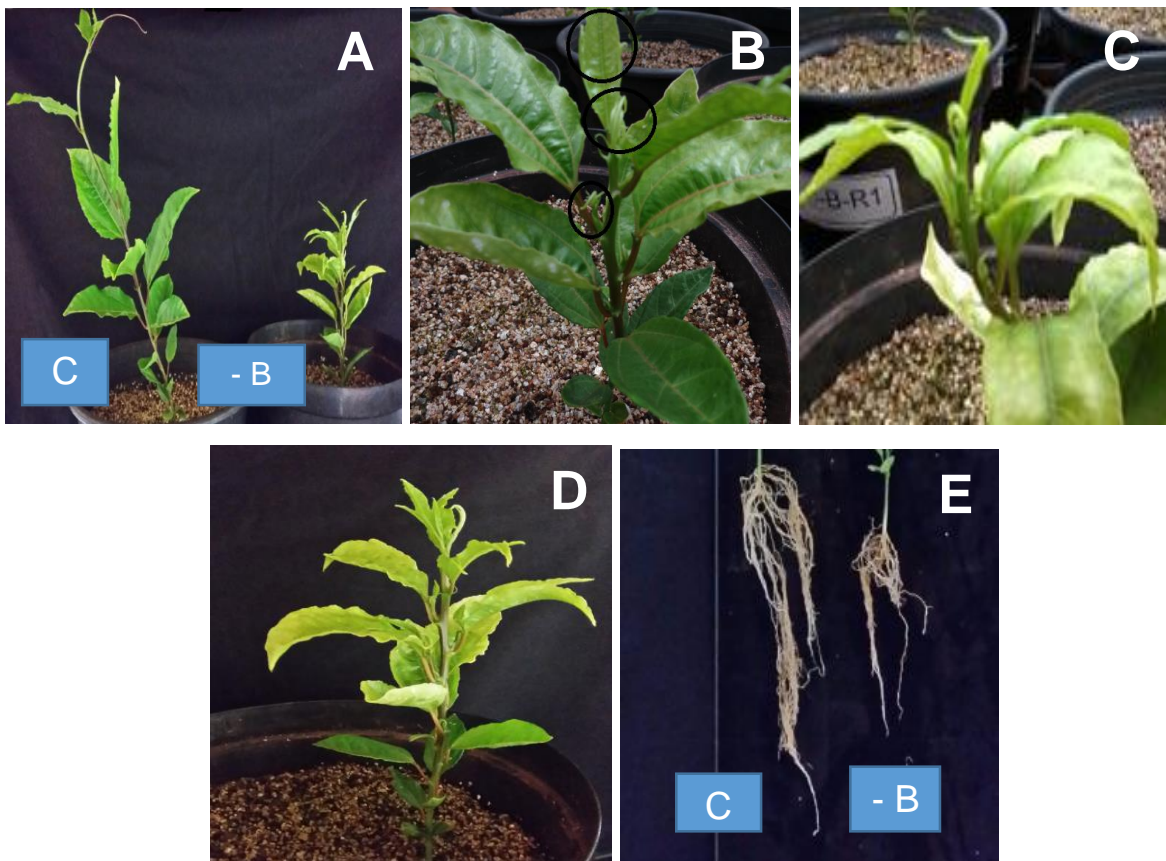


Figura 3. Sintomas da deficiência de B. Nas plantas de maracujá. A. Altura entre os tratamentos completos (- C) e com omissão de boro (-B) B. Deformação e redução no tamanho das folhas novas e encarquilhamento C. Folhas com aspecto coriáceo e clorose irregular D. Clorose avançada em toda a planta E. Diferença de desenvolvimento radicular entre o tratamento completo (- C) e omissão de boro (-B)

O boro é um nutriente cuja deficiência causa a inibição ou paralisação do crescimento dos tecidos meristemático da parte aérea e das raízes (Figura 3). Este menor crescimento meristemático está relacionado à necessidade do nutriente na síntese de bases nitrogenadas, como a uracila, componente essencial do RNA que, por sua vez, é indispensável para a formação de ribossomos que têm na sua composição 50% de ácido ribonucleico; Portanto, a presença deste elemento é necessária para manter a atividade meristemática da planta e promover o crescimento da parte aérea (MALAVOLTA et al., 1967).

Lange et al. (2005) Avaliando o efeito de micronutrientes na produção de matéria seca pela parte aérea e raiz de plantas de mamona, também obteve maior produção com solução nutritiva completa. Nas plantas superiores, como é o caso do maracujazeiro a resposta à deficiência de boro e à inibição do alongamento da raiz é mais rápida, (DELL; HUANG, 1997). Yang et al. (2013) trabalhando com omissão e diferentes doses de H_3BO_3 em mudas de laranjeira que as proteínas envolvidas na produção do amadurecimento dos ribossomos, o que significa em uma deficiência do nutriente, afetando a biossíntese de proteínas na raiz, como se pode observa pelo menor teor de N no tratamento com

omissão de B (Tabela 4). Essa inferência é também apoiada pelo fato de que raízes deficientes em B apresentaram menor teor de proteína total solúvel (WANG et al., 2016).

Tabela 4. Macronutrientes e micronutrientes: Ni, B, Mn, Fe, Zn, Cu e Mo; na matéria seca de raízes de *Passiflora edulis* Sims, cultivadas em soluções nutritivas completa, completa com adição de Ni, e com omissão de micronutrientes.

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S	Ni	B	Mn	Fe	Zn	Cu	Mo
	-----g kg ⁻¹ -----						----- mg kg ⁻¹ -----						
+ Ni	26,9e	0,92f	13,1c	6,6b	0,8d	2,4c	96,0a	17,7b	23,14c	46,8c	35,4b	2,3b	1,1ab
- B	48,9c	1,3e	17,2b	5,9b	2,7b	2,4c	0,09b	11,6c	117,1a	133,5b	55,6a	9,9a	1,1ab
- Mn	69,6a	2,2d	25,4a	14,4a	2,4c	2,6b	0,08b	43,7a	18,2c	130,7b	53,6a	10,4a	1,1ab
- Fe	32,9d	2,4c	25,4a	14,2a	2,8a	2,8a	0,08b	43,1a	115,8a	29,9d	54,0a	10,2a	1,1ab
- Zn	32,9d	2,8a	25,6a	14,8a	2,7b	2,8a	0,31b	43,3a	121,8a	139,2a	12,8c	11,6a	1,1ab
- Cu	32,9d	2,6b	27,4a	14,8a	2,7b	2,7a	0,12b	44,9a	120,0a	139,6a	56,0a	0,74b	1,1ab
- Mo	33,3d	2,6b	24,6a	14,6a	2,7b	2,8a	0,06b	44,2a	92,1b	135,6b	56,0a	10,3a	1,0c
Completo	48,4b	2,4c	25,4a	14,2a	2,8a	2,7a	0,00b	43,3a	116,0a	134,0b	54,8a	10,1a	1,16a
C.V (%)	6,09	8,79	8,29	8,56	6,82	6,08	14,96	4,64	3,88	2,69	5,87	12,24	7,07

Médias seguidas por letras distintas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; ⁽¹⁾MSPA: Matéria seca da parte aérea; ⁽²⁾MSPR: Matéria seca da parte radicular.

Comparando-se teores foliares médios de cálcio nos tratamentos completo e com omissão de B, a omissão de B interferiu negativamente nos teores de Ca (Tabela 3 e 4). Isto pode acontecer porque a deficiência de B reduz a atividade da ATPase e, conseqüentemente, a disponibilidade de energia necessária à absorção iônica ativa, podendo reduzir a absorção de cálcio; a interação entre omissão de B e redução nos teores de Ca deve estar baseada no fato de que os dois nutrientes exercem função na estrutura da parede celular (MARSCHNER, 1995). Resultados semelhantes foram

observados por (LANGE et al., 2005) em mamoneira; motivo pelo qual a aplicação destes deve ser feita em conjunto (DONG et al., 2009).

4.1.3 Manganês (Mn)

O manganês (Mn) foi o segundo micronutriente que a planta manifestou visualmente sua deficiência, sendo observados os primeiros sintomas aos 40 DAT. O tratamento com omissão deste elemento apresentou clorose internerval (40 DAT), que contrastaram com o verde das nervuras e adjacências da folha; esse sintoma caracterizou-se por um retículo grosso começando nas folhas novas, que tiveram seus tamanhos reduzidos (Figura 4). Posteriormente, as folhas se apresentaram como verde opaco (47 DAT), terminando com amarelecimento das folhas jovens e velhas e redução do crescimento (52 DAT) (Figura 4).

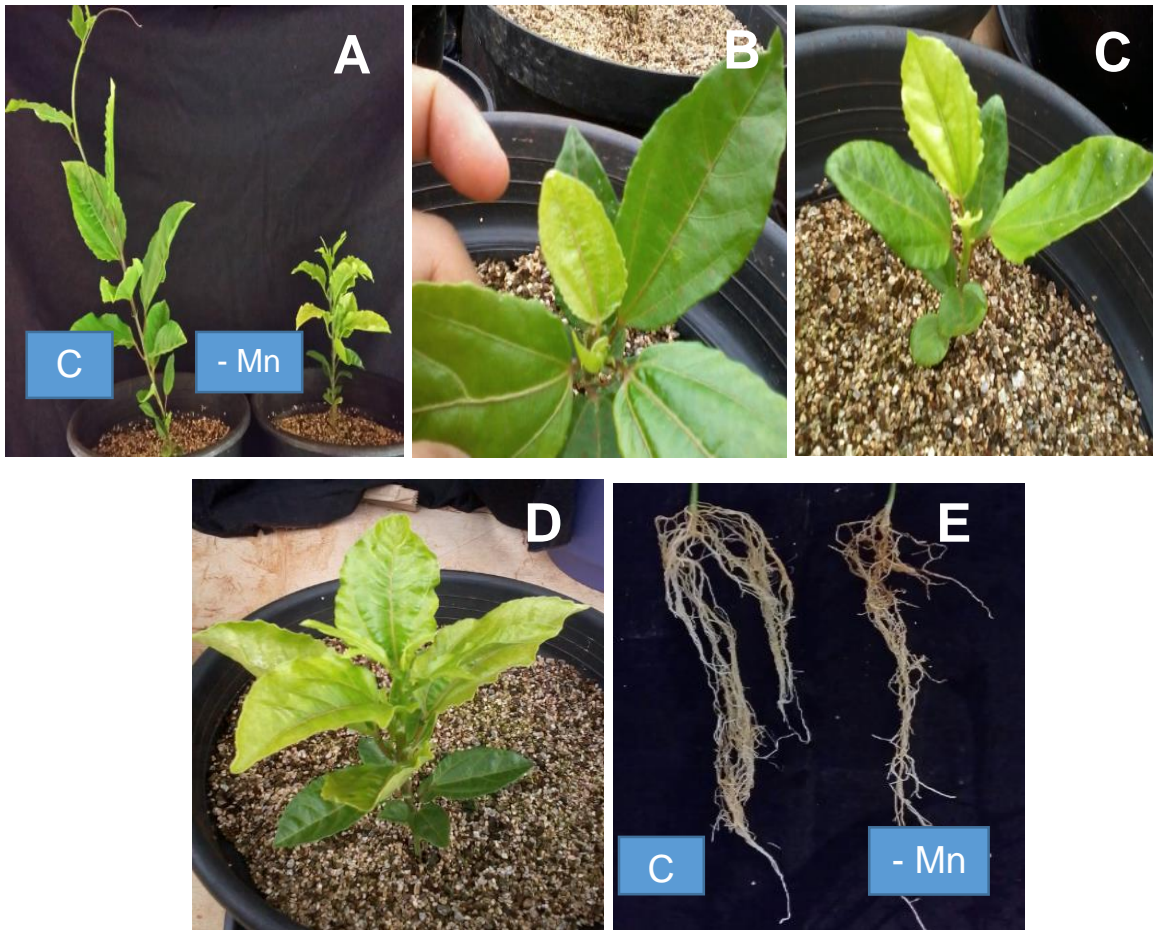


Figura 4. Identificação dos sintomas da deficiência de Mn. Na parte aérea de plantas de maracujá (A); clorose internerval das folhas novas, (B) e reticulado grosso (C), clorose avançada em toda a planta (D); Diferença de desenvolvimento radicular entre o tratamento completo (C) e omissão de Manganês (-Mn) (E).

Alguns autores identificaram a que deficiência de Mn afeta a fotossíntese, no entanto, os sintomas visuais de clorose refletindo em distúrbios fotoquímicos, só são visíveis quando na planta o elemento é gravemente deprimido (HANNAM; OHKI, 1988); No início da deficiência de Mn, a estratificação do sintoma está confinada às folhas recentemente; isto como resultado da baixa mobilidade do Mn no floema que impede

remobilização de Mn de mais para as folhas mais jovens (LONERAGAN, 2012). Os sintomas de clorose podem ter sido causados por um distúrbio na estrutura do cloroplasto, como consequência da inibição na síntese de lipídios (85). Observou-se uma diminuição na matéria seca (Tabela 2), na parte aérea (1,43 g planta) e da raiz (0,56 g por planta); com relação ao tratamento completo que obteve 2,29 e 0,79 g planta⁻¹ respectivamente. As plantas com deficiência de Mn apresentaram um baixo teor de Mn na folha com 18,2 mg kg⁻¹. Fonseca et al. (2005), mostrando diferença com relação ao tratamento completo com valor de 139,6 mg kg⁻¹. O mesmo aconteceu na parte radicular com um baixo teor na raiz de 8,9 mg.kg no tratamento com manganês, em comparação ao tratamento completo com um valor de 59,9 mg kg⁻¹. Houve uma redução da matéria seca radicular e um teor baixo de Mn na raiz de maracujá (Tabela 2), o Mn está envolvido na biossíntese de polimerização de lignina, atuando como um mediador redox no transporte a adição de monolignóis para grupos fenólicos existentes na parede celular (BARROS et al., 2015). Assim, a deficiência do Mn, provoca reduções nas concentrações de lignina em plantas e em particular em raízes; por essa razão, as plantas deficientes em Manganês têm uma menor produção de biomassa, obtendo plantas com redução do crescimento e desenvolvimento.

4.1.4 Ferro (Fe)

De acordo com a deficiências dos micronutrientes a primeira deficiência que se apresentou foi a deficiência de ferro (Fe), que apareceu aos 35 dias de transplante do experimento, as folhas jovens com deficiência apresentaram redução do crescimento,

clorose internerval com aparência de reticulado fino (nervuras com coloração verde-escura) mas a porção do limbo compreendida entre as nervuras e as veias apresentava um tom amarelado (GAMA et al., 2016), (Figura 5), enquanto o tratamento completo apresentou folhas novas com um verde intenso. Com a severidade da deficiência houve queda dos níveis de clorofila, e mais tarde folhas esbranquiçadas, caracterizado por uma redução do crescimento (Figura 5) observando-se em uma notável diminuição da matéria seca (Tabela 2), na parte aérea ($1,51 \text{ g planta}^{-1}$) e da raiz ($0,52 \text{ g planta}^{-1}$); com relação ao tratamento completo que obteve $2,29$ e $0,79 \text{ g planta}^{-1}$ respectivamente.

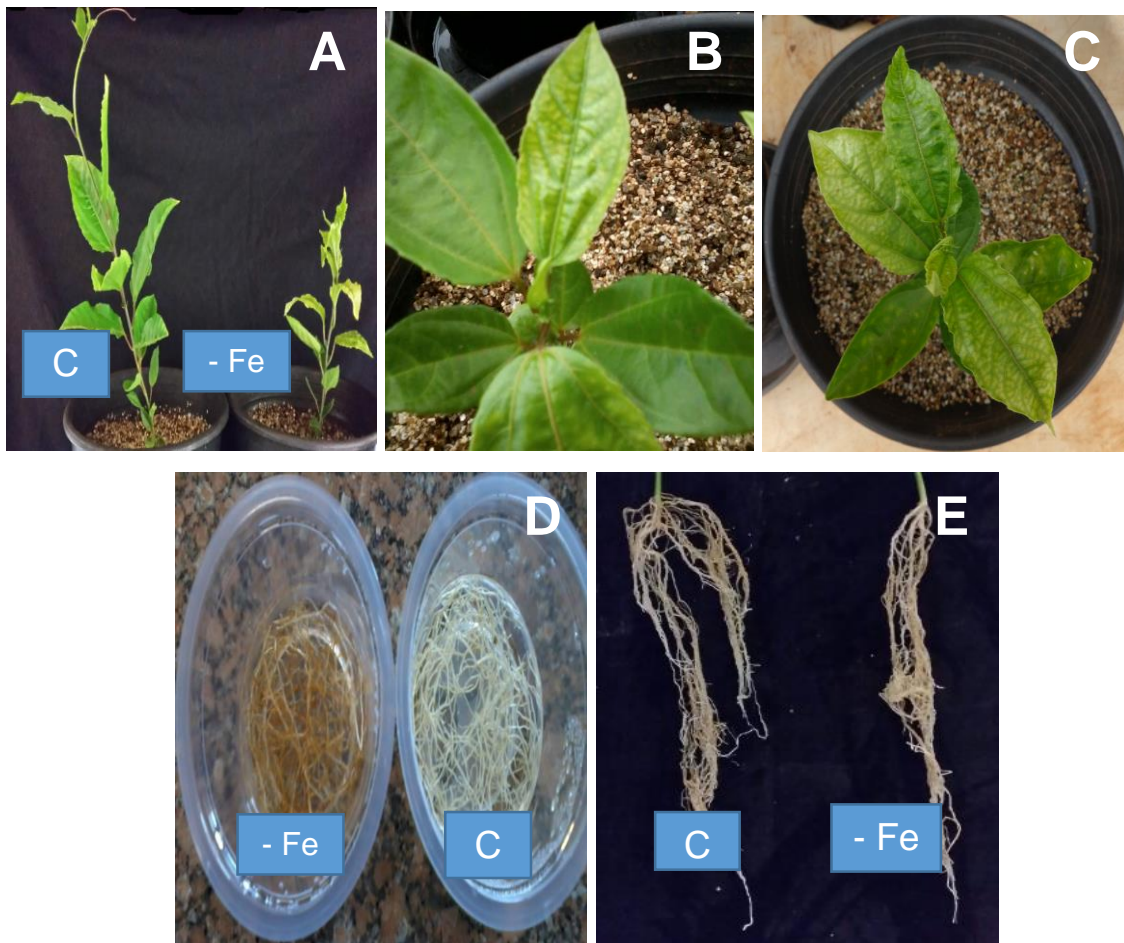


Figura 5. Identificação dos sintomas da deficiência de Fe. Na parte aérea das plantas de maracujá (A); clorose internerval das folhas novas com reticulado fino (B) e (C), mudança de cor nas raízes do tratamento completo (C) e a omissão de Ferro (- Fe) (D); Diferença de desenvolvimento radicular entre o tratamento completo (C) e omissão de Ferro (-Fe) (E).

As folhas inferiores e/ou medianas apresentaram uma cor normal. O sistema radicular mostrou tonalidade marrom (Figura 5), algumas raízes de cor amarelada, caracterizado pelo transporte eletrônico (redox) através da membrana da vesícula estimulado a partir de raízes com deficiência de ferro (ROMERA et al., 2003), acharam que além da mudança da cor das raízes pode-se apresentar um desenvolvimento de pêlos radiculares (ROMERA et al., 2006), com poucas ou ausência de raízes secundárias, resultando em um menor sistema radicular, com raízes quebradiças. Embora o ferro não faça parte da molécula de clorofila, a clorose é um dos sintomas mais característico, devido ao seu papel na síntese da clorofila, particularmente na conversão de Mg-protoporfirina IX em protoclorofilida.

As plantas com deficiência de Ferro apresentaram um baixo teor de ferro na folha com $29,9 \text{ mg kg}^{-1}$ (FONSECA et al., 2005; NATALE et al., 2004), apresentando-se diferença com relação ao tratamento completo com valor de $139,6 \text{ mg.kg}^{-1}$; coincidindo com outros trabalhos feitos com maracujá e teores de nutrientes (PRIMAVESI; MALAVOLTA, 1980; CARVALHO et al., 2001). O Fe é um elemento essencial para as plantas, uma vez que desempenha papel importante com uma variedade de funções fisiológicas celulares e outros que varia de metabolismo, para o crescimento e desenvolvimento, incluindo a síntese de clorofila, respiração, reações redox; falta de Fe

induz modificações em muitos processos fisiológicos que dão origem a reações redox desequilibrada, respiração anormal das plantas, fotossíntese, e arquitetura alterada da raiz (CHEN et al., 2014; LI; WANG; YANG, 2015).

4.1.5 Zinco

Os sintomas de deficiência de zinco (Zn) começaram a visualizar-se aos 44 dias após ao início do tratamento com alongamento e redução do tamanho das folhas novas (folhas pequenas e lanceoladas), internódios curtos e superbrotção, ramos finos e atrofiamento vegetativo, além do crescimento e desenvolvimento radicular; posteriormente quando os sintomas acentuaram-se houve clorose com formação de rosetas em parte superior da parte aérea (Figura 6).

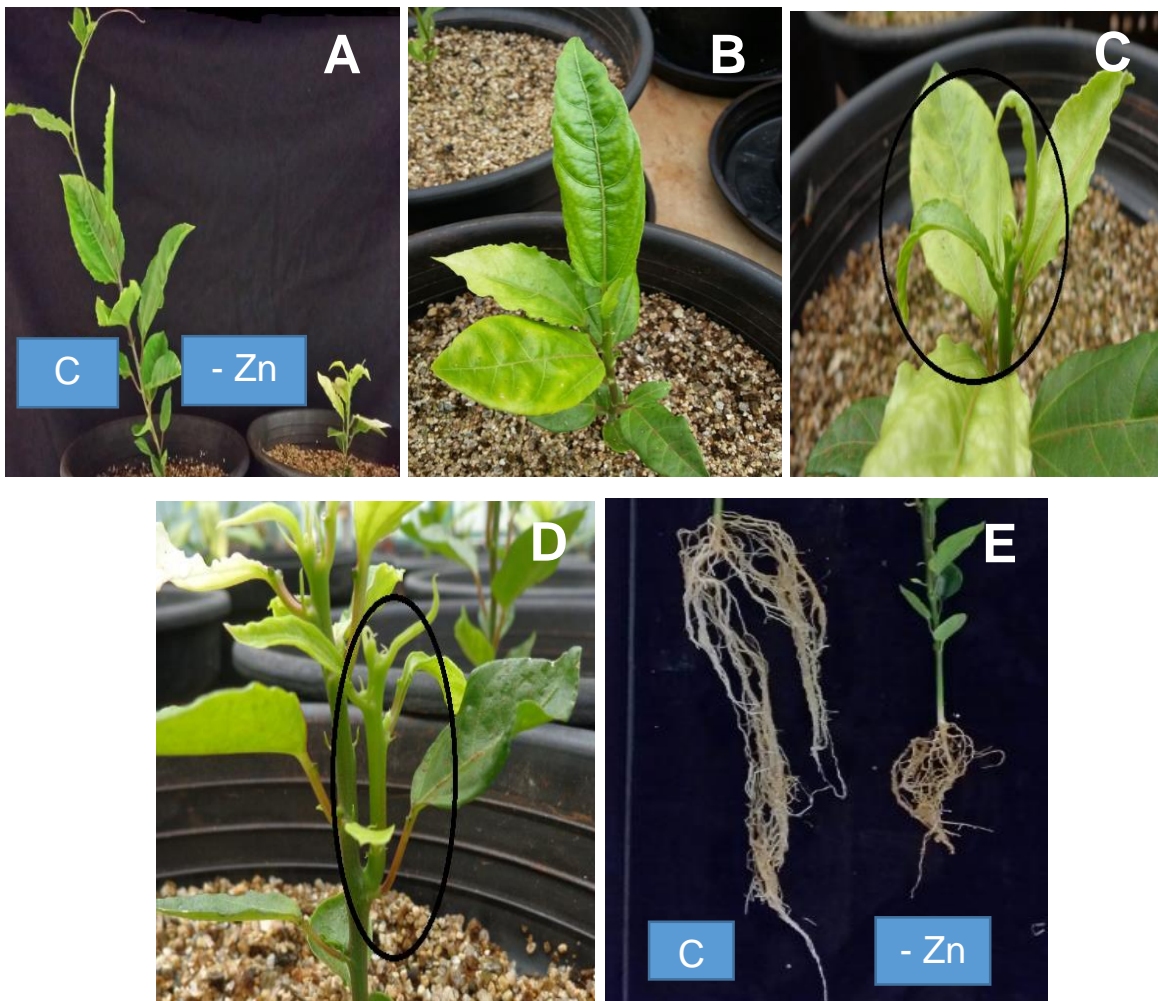


Figura 6. Identificação dos sintomas da deficiência de Zn. Nas plantas de maracujá. Na parte aérea das plantas de maracujá (A); folha nova pequena e cumprida (B) deformação e encurvamento das folhas novas (C), formação de brotações excessivas e internódios curtos (D); Diferença de desenvolvimento radicular entre o tratamento completo (C) e omissão de Zinco (-Zn) (E).

A deficiência de Zn manifestou-se, mais visivelmente no terço superior das plantas, justificando as afirmações de (DONG et al., 2009; MARSCHNER, 1995; MALAVOLTA et al., 1997) sobre a baixa redistribuição do zinco na planta. Deficiência de Zn causa importantes perturbações no crescimento e desenvolvimento das plantas devido

a diversidade de funções celulares essenciais e vias metabólicas diretamente influenciados (CAKMAK, 2000). Uma delas é que está associada ao metabolismo das auxinas, fitormônio responsável pelo crescimento das plantas (SARTORI et al., 2008). O teor de Zn no tratamento com omissão esteve bem abaixo da faixa adequada na folha com um valor de $12,8 \text{ mg kg}^{-1}$ (FONSECA et al., 2005; NATALE et al., 2004), apresentando-se diferença com relação ao tratamento completo com valor de $139,6 \text{ mg.kg}^{-1}$. O teor de fósforo na folha do tratamento com omissão de Zn teve um valor com diferença significativa em comparação com os outros tratamentos (Tabela 3). Alguns trabalhos relatam a interação entre o fósforo e o zinco na planta, esta interação é bastante estudada, porém é um fenômeno complexo e pouco entendido, alguns autores relatam que o fósforo no exerce influência sobre a absorção do zinco, (Bingham, 1963), outros indicam que o fósforo pode diminuir a absorção de zinco (OLSEN, 1972; HUANG et al., 2013; ZHANG et al., 2015) ocorrendo possivelmente pela taxa de aplicação de fósforo o que aumentaram a biomassa das plântulas, além que o teor, acúmulo e remobilização do zinco são afetadas pela aplicação do fósforo, estes efeitos dependem da fase fenológica da planta (ZHANG et al., 2015). Na raiz houve uma queda de matéria seca $0,13 \text{ g planta}^{-1}$ em comparação com o tratamento completo $0,79 \text{ g planta}^{-1}$, isto ocorreu devido a que o zinco tem um papel importante no metabolismo de auxinas, parece provável que o triptófano é precursor na biossíntese de Ácido Indol acético (AIA), o qual não é sintetizado, produzindo degradação oxidativa, diminuindo o desenvolvimento radicular, apresentando-se plantas com menor crescimento (MARSCHNER, 1995).

4.1.6 Cobre (Cu)

Aos 47 após o início do tratamento, foram observados os primeiros sintomas, sendo uns dos últimos nutrientes a apresentarem sintomas visuais de deficiência, indicando menor exigência do maracujazeiro. O tratamento com omissão de cobre (Cu), produziu menor matéria seca na parte aérea com $0,45 \text{ g planta}^{-1}$ e $0,19 \text{ g planta}^{-1}$ na parte radicular; além do teor baixo na parte foliar $0,74 \text{ mg kg}^{-1}$ (Tabela 3); (FONSECA et al., 2005; NATALE et al., 2004) e o pouco desenvolvimento na área radicular. As plantas sob tratamento de omissão de Cu apresentaram ramos finos com folhas novas pequenas e estreitas, emissão de gemas vegetativas múltiplas, originando brotações com folhas diminutas, à medida que a deficiência se agravou no final as plantas apresentaram áreas cloróticas, os limbos foliares mostraram áreas enrugada ou deformada (Figura 7).

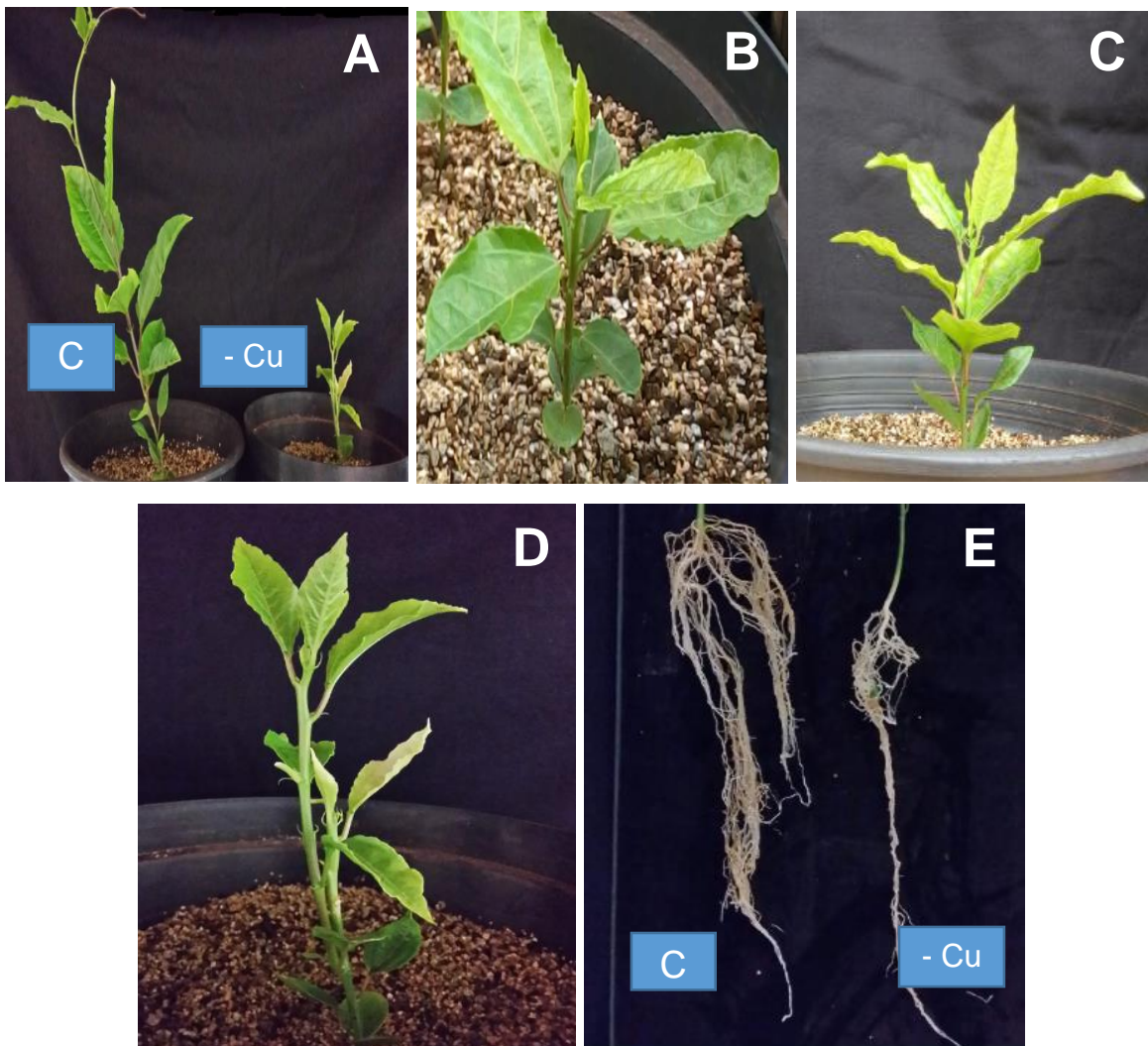


Figura 7. Identificação dos sintomas da deficiência de Cu em plantas de maracujá. Na parte aérea das plantas de maracujá (A); folha nova pequena, cumprida e com sintoma de clorose (B) deformação e encurvamento das folhas novas (C), formação de brotações excessivas e internódios curtos (D); diferença de desenvolvimento radicular entre o tratamento completo – C e omissão de Cobre –Cu (E).

O Cu é um micronutriente que atua como elemento estrutural de várias proteínas, envolvidas na cadeia transportadora de elétrons, na mitocôndria e cloroplastos, bem

como na resposta ao estresse oxidativa em plantas (GRATÃO et al., 2005, YRUELA, 2009), sintomas de deficiência de Cu são clorose e distorção foliar, estes sintomas ocorrem preferencialmente em tecidos das brotações e são indicativo de redistribuição pobre de cobre. Estes sintomas também podem ser explicados em vista do Cu no metabolismo da planta; assim a falta de Cu reduz o transporte de elétrons do PSI (Fotossistema I), devido a formação de plastocianina (BASZYŃSKI et al., 1978; SHIKANAI et al., 2003), que é o maior alvo de deficiência de Cu na fotossíntese.

4.1.7 Molibdênio (Mo)

O tratamento com omissão de Molibdênio (Mo), mostrou uma clorose internerval nas folhas maduras e encurvamento das margens das folhas para cima, mostrando certa similitude com a deficiência de nitrogênio a medida que os sintomas de deficiência foram avançando. A carência deste elemento limitou a altura da planta frente ao tratamento completo (Figura 8), afetando a produção de biomassa seca da parte aérea e raiz (Tabela 2).

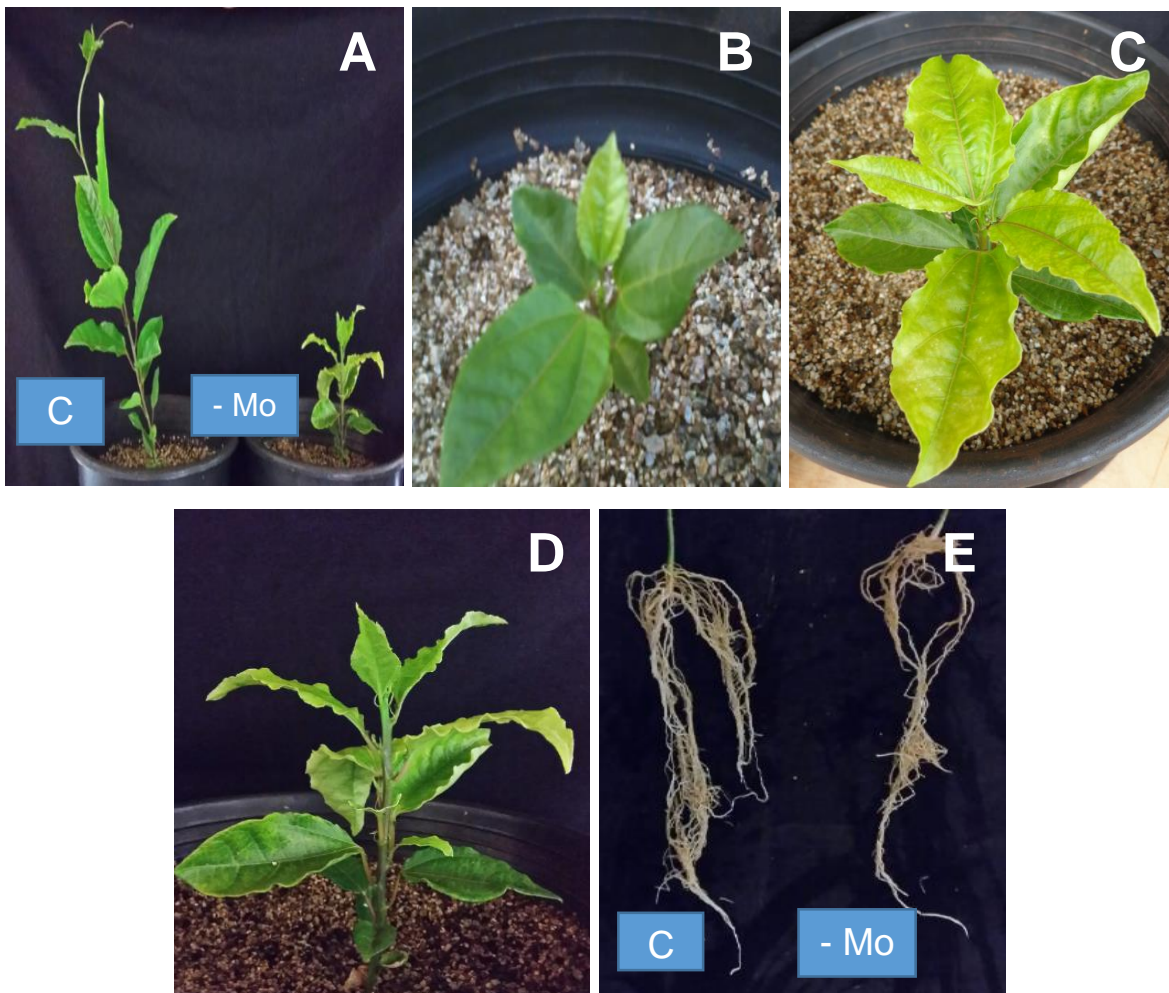


Figura 8. Identificação dos sintomas da deficiência de Mo em plantas de maracujá. Na parte aérea de plantas de maracujá (A); sintoma inicial da deficiência de molibdênio (B) Clorose em folhas (C), Encurvamento das folhas velhas (D); diferença de desenvolvimento radicular entre o tratamento completo (C) e omissão de Molibdênio (-Mo) (E).

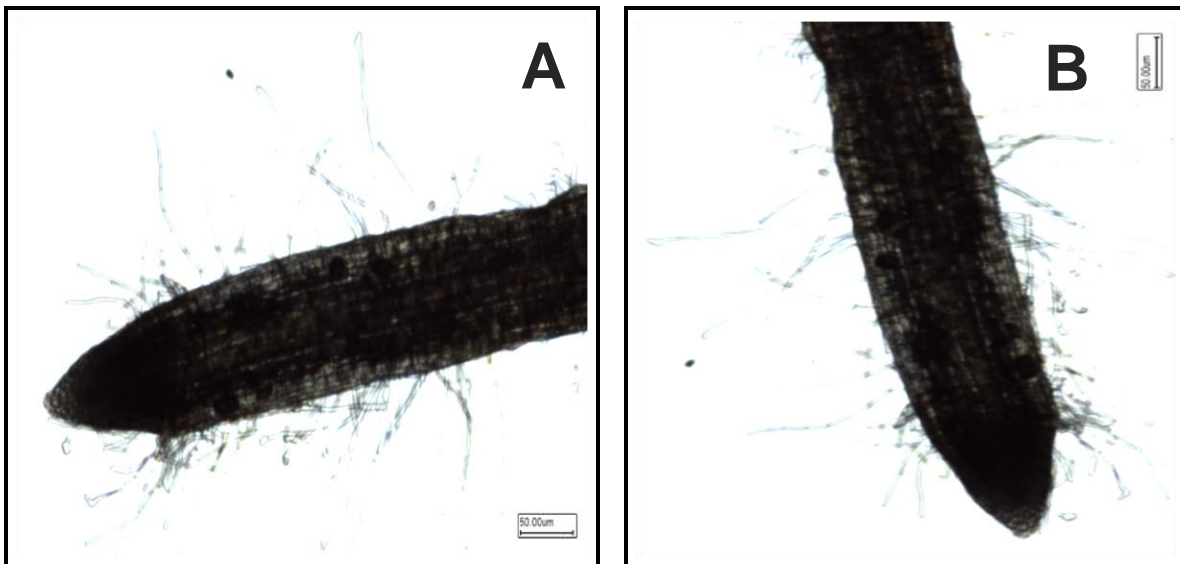
Observa-se que a omissão de Mo ocasionou uma redução no teor desse nutriente nas diferentes partes da planta (Parte aérea e raiz), porém de modo não significativo, quando comparado ao tratamento completo (Tabela 3 e 4). Há poucas enzimas contendo

Mo nas plantas superiores uma delas é a nitrato redutase que causa redução de NO_3 a NO_2 (HILLE, 1996). As plantas com deficiência de Mo está relacionada com o aumento de compostos solúveis de N, tais como amidas, e na atividade da ribonuclease, enquanto a concentração de proteínas diminui, indicando envolvimento deste micronutriente na síntese de proteínas. Este papel na síntese de proteínas pode ser responsável pelo efeito deletério do Mo sobre a concentração de clorofila, a estrutura do cloroplasto e o crescimento. Os sintomas de deficiência de Mo diferem entre as espécies de plantas, mas mosqueado internerval, clorose marginal das folhas mais velhas e enrolamento para cima das margens das folhas são todos sintomas típicos (KIRKBY; RÖMHELD, 2007).

4.2 Determinação de desenvolvimento de pelos radicais e subapicais em microscópio ótico

Entre os tratamentos, o elemento que apresentou diferença visual, foi a omissão de Fe, que desenvolveu mais pêlos radicais em relação aos demais tratamentos (Figura 9). Existem diferentes respostas de estresse a deficiência de ferro; embora não é bem conhecida, há diferentes hipóteses que têm sido propostas. De acordo com Bienfait (1988), existe uma proteína de ativação nas raízes que liga essas respostas, ou seja, os respectivos genes, quando não está ligado ao Fe. Scholz et al. (1992) sugeriram que o complexo nicotianamina (NA), participa na repressão de respostas ao estresse sob deficiência Fe, de tal maneira que as respostas são ativadas quando o NA se liga ao Ferro repressor, o qual não é formado.

Outros autores têm proposto que a deficiência de ferro aumenta os níveis de algumas hormonas; em plantas com estratégia I é amplamente aceite as funções de auxina e/ou etileno na regulação de algumas de suas respostas morfológicas á deficiência de Fe, tais como o desenvolvimento de pêlos radicais e subapicais em células de transferência (LANDSBER, 1996; ROMERA; ALCANTARA, 2003; ROMERA; ALCÁNTARA; DE LA GUARDIA, 1999).



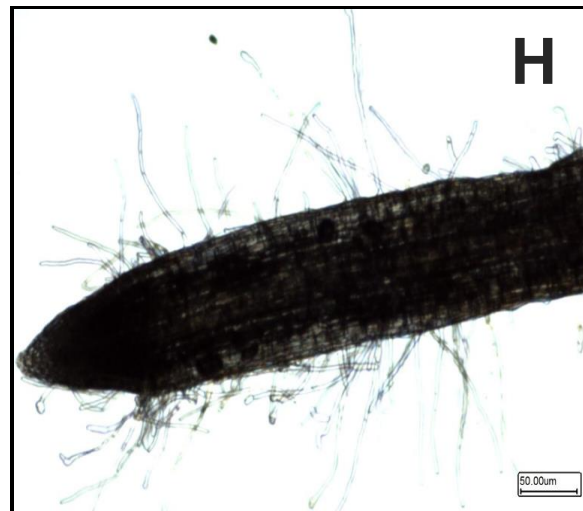
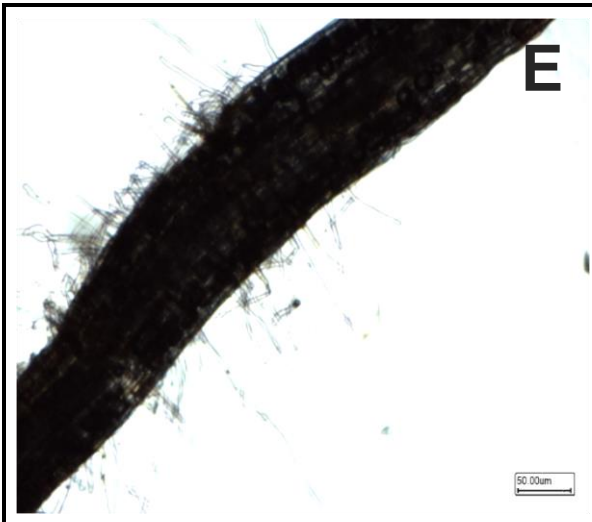
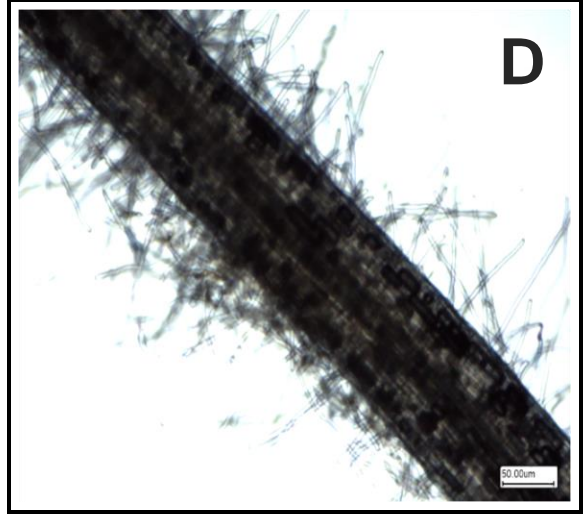
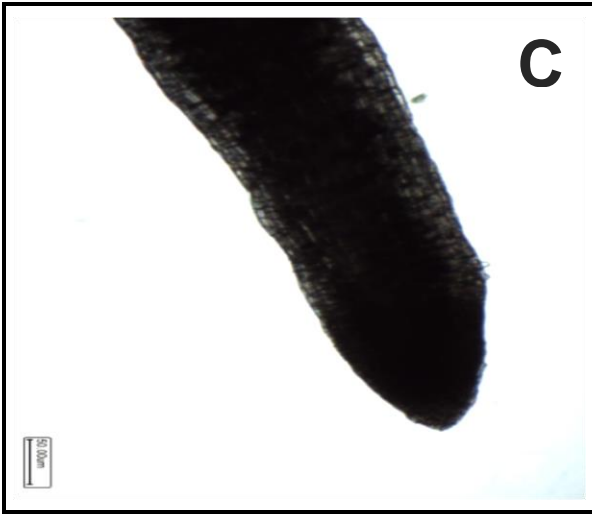


Figura 9. Determinação de pêlos apicais e sub-apicais em tratamentos: Manganês (A), Omissão de Boro (B), Completo (C), Omissão de Ferro (D), Omissão de Zinco (E), Omissão de Cobre (F), Adição de Níquel (G), Omissão de Molibdênio (H).

Existem vários resultados experimentais que suportam um papel para etileno na regulação das respostas de estresse á deficiência Fe na Estratégia I em plantas. Raízes de pepino, tomate, ervilha (ROMERA et al., 1999).

Em plantas deficientes em Fe produzindo mais do que etileno naquelas com teores adequados de Fe. A aplicação de 1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC, etileno precursor), ou de ethephon (substância de liberação de etileno), nas raízes de plantas com estratégia I com deficiência de Fe, promoveu a formação de pêlos radiculares subapicais (LANDSBERG, 1996; ROMERA; ALCANTARA, 2003; SCHMIDT et al., 2000). O modo de ação do etileno não é totalmente conhecido. Entretanto uma via de transdução de etileno tem sido proposta em que vários receptores de etileno podem funcionar como repressores de sinalização de etileno: em cima de etileno de ligação, os receptores etileno criam uma sinalização, a partir da deficiência de ferro (CANCEL; LARSEN, 2002; NEUMANN, 2015).

4.3 Índice de Cor Verde

Na maioria dos tratamentos, houve tendência inicial de evolução dos teores de clorofila em função do tempo decorrido, exceção feita ao Manganês e Ferro (Figura 10D e Figura 11E).

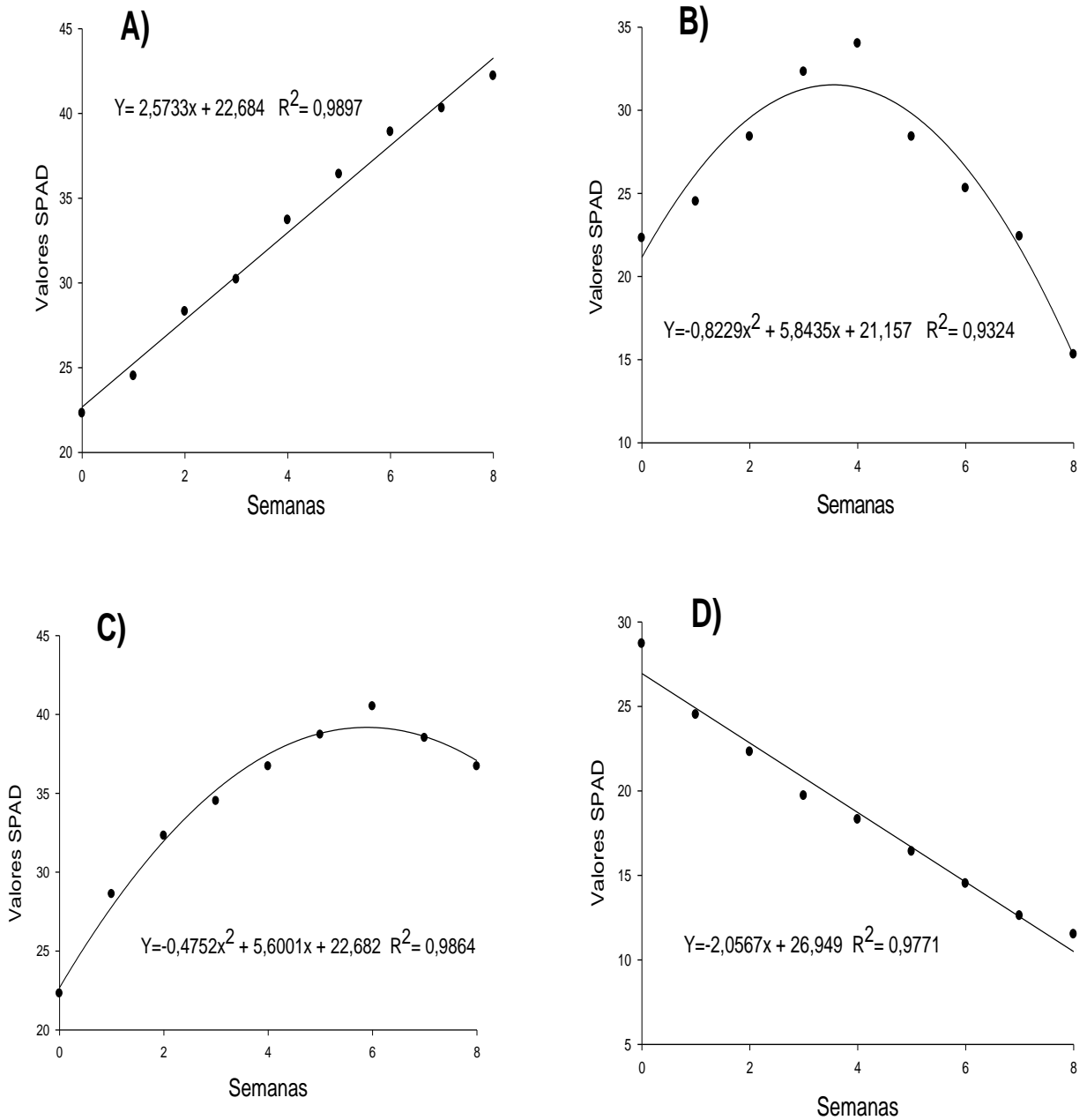
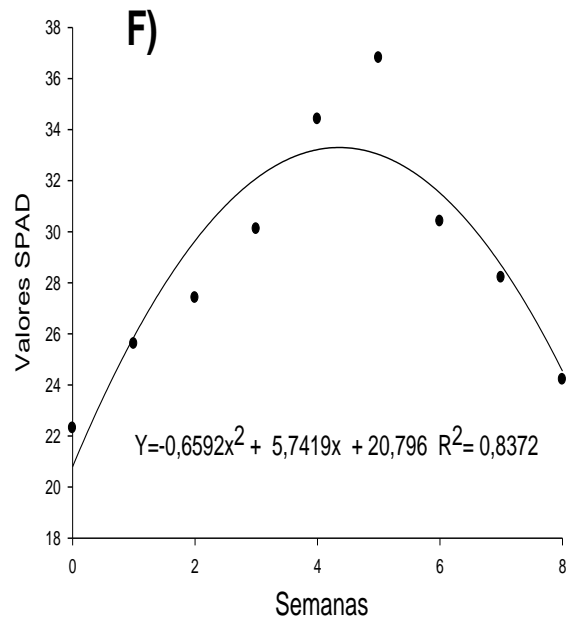
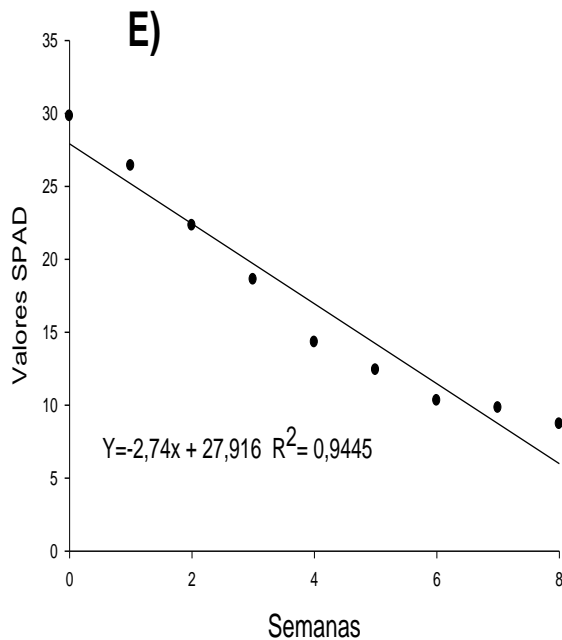


Figura 10. Determinação indireta do teor de clorofila, em valores SPAD, no maracujazeiro variedade gigante amarelo em soluções nutritivas completa (A), com adição de Níquel (B), omissão de Boro (C), omissão de Manganês (D).

As diferenças encontradas nos tratamentos provavelmente estão associadas à biossíntese de clorofila, influenciadas pelos micronutrientes (RAJCAN; DWYER; TOLLENAAR, 1999; MARSCHNER, 1995; WANG et al., 2016).

Nos tratamentos com omissão de Mn, tratamento completo e Fe, as tendências ajustadas foram lineares, porém, no caso de Mn e Fe a correlação foi negativa, enquanto no tratamento completo foi positiva o que condiz com observações visuais (Figura 10AD e Figura 11E). Isto pode acontecer devido à marcha de absorção das passifloras, devido a que existe uma alta exigência pelos micronutrientes catiônicos, especialmente Fe e Mn (PRIMAVESI; MALAVOLTA, 1980), os quais participam diretamente na biossíntese de clorofila a partir da formação de ferredoxina e inibição na síntese de lipídios, ocorrendo danos por estresse oxidativa, nos fotossistemas I e II dentro dos cloroplastos (SCHMIDT et al., 2016).



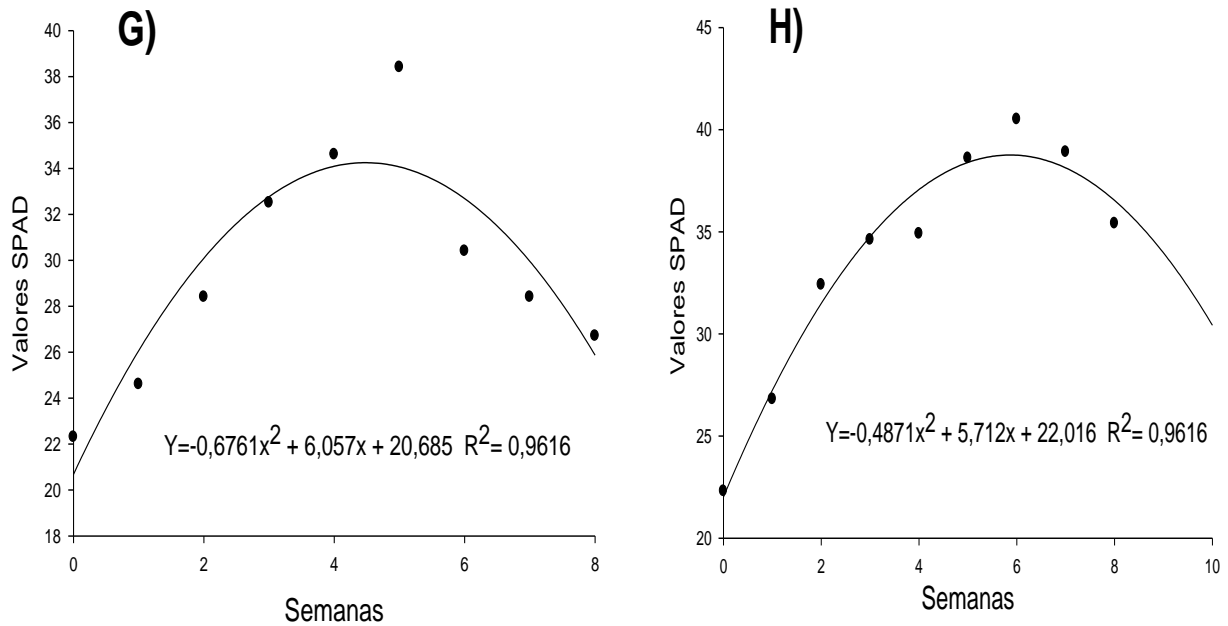


Figura 11. Determinação indireta do teor de clorofila, em valores SPAD, no maracujazeiro variedade gigante amarelo em soluções nutritivas com omissão de Ferro (E), omissão de Zinco (F), omissão de Cobre (G), omissão de Molibdênio (H).

A omissão de Cu, Mo, Zn e adição de níquel mostraram um aumento nos valores SPAD ao início, seguido de um declínio ao final do experimento. O tratamento com Ni apresentou uma queda maior do que os demais tratamentos, refletindo-se em sintomas como amarelecimento e pouco desenvolvimento da parte aérea. Segundo Paiva et al. (2003), descreveu alguns sintomas visuais como clorose e pode ser confundido com a deficiência de outros elementos essenciais. Isto pode acontecer devido à menor absorção de Fe e Mn, elementos importantes na biossíntese da clorofila (MARSCHNER, 1995), além de produzir um crescimento reduzido das raízes e da parte aérea, deformação de várias partes da planta e manchas peculiares nas folhas (SYAM et al., 2016

4.4 IRGA (Infra-Red Gas Analyzer)

Foram constatados os sintomas típicos de deficiências nos tratamentos com omissões dos micronutrientes (B, Mn, Fe, Zn, Cu, Mo) e adição de Ni, no momento da medição fotossíntese, condutância estomática, transpiração e a relação entre a concentração de CO₂ nos espaços intercelulares e a concentração de CO₂ no ambiente, de acordo a tabela 5.

Tabela 5. Resumo dos resultados médios de concentração interna de CO₂ (C_i) e externa (C_c) da transpiração (E), da condutância estomática (g_s) e da fotossíntese (A) de mudas de maracujazeiro, em função das omissões dos micronutrientes, adição de níquel e tratamento completo.

Tratamentos	Fotossíntese	Condutância estomática	Transpiração	C _i /C _a
	μmol m ² s ⁻¹	mmol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹	mmol m ² s ⁻¹	
+Ni	3,3e	0,07g	1,61h	0,75g
-B	7,5c	0,38b	6,42e	0,87e
-Mn	8,2b	0,25d	10,26a	0,93b
-Fe	7,1d	0,18e	7,89c	0,91c
-Zn	0,6g	0,05h	3,46g	0,96a
-Cu	1,3f	0,09f	4,56f	0,87e
-Mo	8,2b	0,28c	6,77d	0,89d
Completo	12,5a	0,55a	8,26b	0,85f
C.V (%)	12	1,49	6,15	6,82

Médias seguidas por letras distintas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

As omissões de todos os micronutrientes e adição de Níquel diminuíram a transpiração das folhas das mudas de maracujazeiro, em relação ao tratamento completo. Isso ocorre provavelmente ao papel que exerce os micronutrientes na

transpiração, e os efeitos da ausência individual de cada micronutriente sobre os teores de N, P, K, Ca e Mg, determinados nos tecidos da quarta folha. Verifica-se que a falta de B acarretou em diminuição nos teores de Ca e P (MARSCHNER, 1995). Para Gupta (1979) considera os relatos de literatura sobre as relações dos teores de Ca e B inconclusivos. O B e Mn são nutrientes que também influenciam a atividade de componentes específicos de membranas celulares, que são importantes no transporte de P. Em caso de deficiência de B, Mn, há uma diminuição da atividade da ATPase, reduzindo a disponibilidade de energia para absorção iônica ativa e passagem de açúcares-P e aminoácidos (MALAVOLTA, 1997). A adição de Níquel causou uma queda nas concentrações de transpiração apresentando $1,6 \text{ mmol m}^2 \text{ s}^{-1}$.

A adição do Ni diminuiu a concentração da condutância estomática, esse elemento pode elevar as quantidades de prolina (LIU; ZHU, 1997), que tem seu aumento relacionado ao estresse nas plantas. Molas (2002) confirmou que o aumento da dose de Níquel provocava a redução do número e tamanho dos estômatos nas folhas de repolho. Resultados semelhantes foram observados na alface cultivada com Ni, que apresentou menores valores de condutância estomática e fotossíntese. Seregin e Kozhevnikova (2006), encontraram redução na transpiração e da condutância estomática em plantas cultivadas na presença de Ni.

Houve uma redução na relação entre as concentrações internas e externas de CO_2 , de todos os tratamentos, menos o tratamento completo; o tratamento mais afetado foi a adição de Ni o qual apresentou uma razão C_i/C_a de 075. Diversos trabalhos indicam que a redução de estresse oxidativa pelo Níquel e outros metais pesados, pode ser um dos principais efeitos de toxicidade do Ni em plantas (SHAHID et al., 2017) dentre os vários aspectos do estresse oxidativa, a peroxidação de lipídios tem sido considerada um dos principais mecanismos de injúria celular (BAHATTACHARYA; BAHATTACHARYA, 2007), o qual se inicia na peroxidação de ácidos graxos insaturados das membranas celulares, acarretando alteração de permeabilidade e flexibilidade e, ainda, a ruptura das estruturas celulares, conforme observado no sistema de membranas do cloroplasto (LI et al., 2006).

O Ni causa danos às membranas dos tilacóides e outros efeitos tóxicos podem ocorrer como a diminuição do conteúdo de clorofila, a diminuição na fixação interna de CO₂ tornando uma redução da atividade fotoquímica, dentre outros fatores considerados indicadores de eficiência fotossintética (GRATÃO, 2005).

4.5 Determinação das Alterações Ultra-estruturais por meio da Microscopia eletrônica de Transmissão

4.5.1 Níquel

A adição de Ni mostrou fitotoxicidade no mesófilo foliar das plantas de *Passiflora edulis*, as plantas tratadas com níquel provocaram desarranjo e desestruturação das células, diminuindo o número e tamanho dos cloroplastos, apresentando-se cloroplastos arredondados nas plantas com sintoma de toxicidade de níquel do que cloroplastos nas plantas com o tratamento completo, que apresentaram formas alongadas (Figura 12); coincidindo com pesquisa feita por Molas (2002); a qual estabeleceu um menor número de grânulos de amido e maior de plastoglobulina, que aumenta em condições de estresse, incluindo o estresse causado pelo níquel, produzindo inchamento dos cloroplastos (MOLAS, 1998; KUKKOLA; HUTTUNEN, 1998). Também foi observado um menor número de grânulos de amidos nos cloroplastos e um engrossamento da lamela média com relação ao tratamento sem níquel (Figura 12).

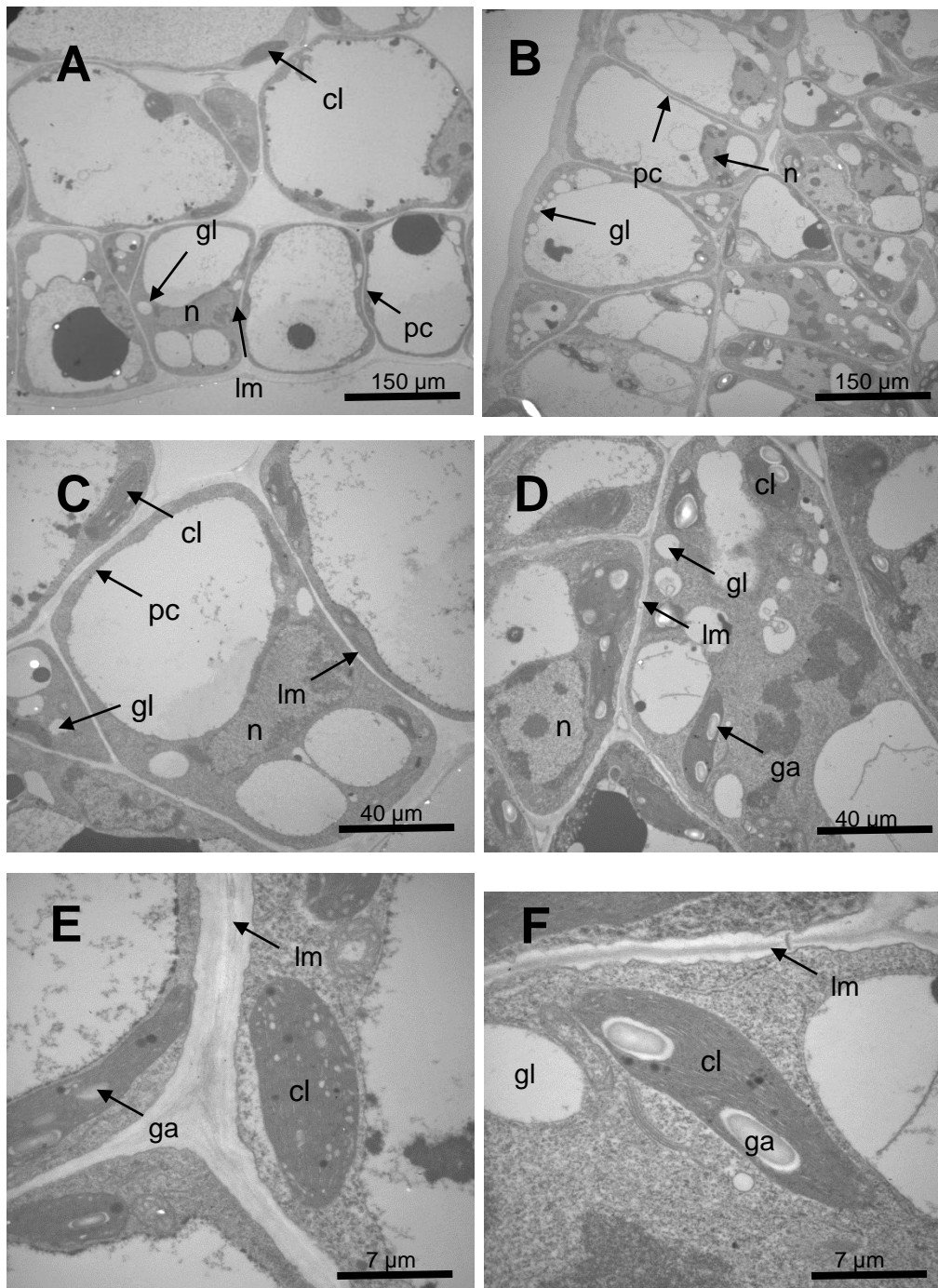


Figura 12. Análise ultra-estrutural do mesófilo foliar de plantas de Maracujá. Aspecto geral da célula do tecido foliar: Adição de Níquel (A) e Tratamento Completo (B); parte da célula: Adição de Níquel (C) e (E), e tratamento completo (D) e (F); cl: cloroplastos; lm: lamela média; n: núcleo; gl: glóbulos de lipídeos; ga: grânulos de amido; pc: parede celular.

A influência do Ni sobre a fotossíntese é multidirecional, o níquel danifica o aparato fotossintético em quase todos os níveis da sua organização (KRUPA et al., 1993; MOLAS, 1998). Molas (2002) avaliando complexos de níquel orgânico, determinou a influência do Ni com teores em excesso na planta, o qual tiveram efeito negativo sobre a parte ultra-estrutural dos cloroplastos e concentração de clorofila nas folhas de repolho. O autor observou mudança na organização dos cloroplastos; tanto o número como alteração ultra-estrutural, em folhas novas quanto velhas, isto devido a acumulação do metal nos cloroplastos. O autor coincidiu com um desarranjo dos estromas dos tilacóides e menor número de grânulos de amido nos cloroplastos. Isto pode acontecer devido ao antagonismo do Ni em relação aos micronutrientes catiônicos que são constituintes da clorofila e pela localização de alguns elementos nos cloroplastos como o Fe e Mn (MARSCHNER, 1995); sabe-se que o níquel em excesso de forma semelhante como outros metais pesados, diminui o teor de clorofila nas folhas, que por inibição da biossíntese de clorofila que pode resultar em perturbação da atividade fotoquímica ou bioquímica; ou por indução da sua degradação (KRUPA et al., 1993; ABDEL-BASSET; ISSA; ADAM, 1995). Outro fator que determinou a atividade fitotóxica do níquel é que os cloroplastos das células tratadas com adição de níquel continham poucos ou nenhum grânulo de amido, o qual produz baixa atividade fotossintética (MOLAS, 2002).

4.5.2 Boro

O principal sintoma da deficiência de B a nível ultra-estrutural é o engrossamento da lamela média onde observou-se no tratamento com omissão de boro maior engrossamento do que o tratamento completo (Figura 13); do retículo nesta camada. A lamela média é uma fina camada e componente estrutural que se localiza entre duas paredes celulares primárias adjacentes constituintes de pectina. O engrossamento da lamela média poderia explicar-se pelo papel do boro na relação com o complexo B-

polissacarídeo boro-ramnogalacturonano-II (RG-II-B) 1:2 diésteres borato diol (GWUANPUA et al., 2016). Fonseca et al. (2005), observaram a formação mais larga de orifícios de parede celular de normalidade dentro da tridimensional estrutura por causa de uma falta de dB-RGII, sugerindo um novo papel funcional B na parede celular. A presença de um poro impróprio, em células B deficiente, podem afetar importantes processos fisiológicos tais como a incorporação de transporte e de polímeros na parede. A deficiência em B ocorre a inibição do crescimento radicular, o que provavelmente está associado ao papel na composição da parede celular (LIU et al., 2014).

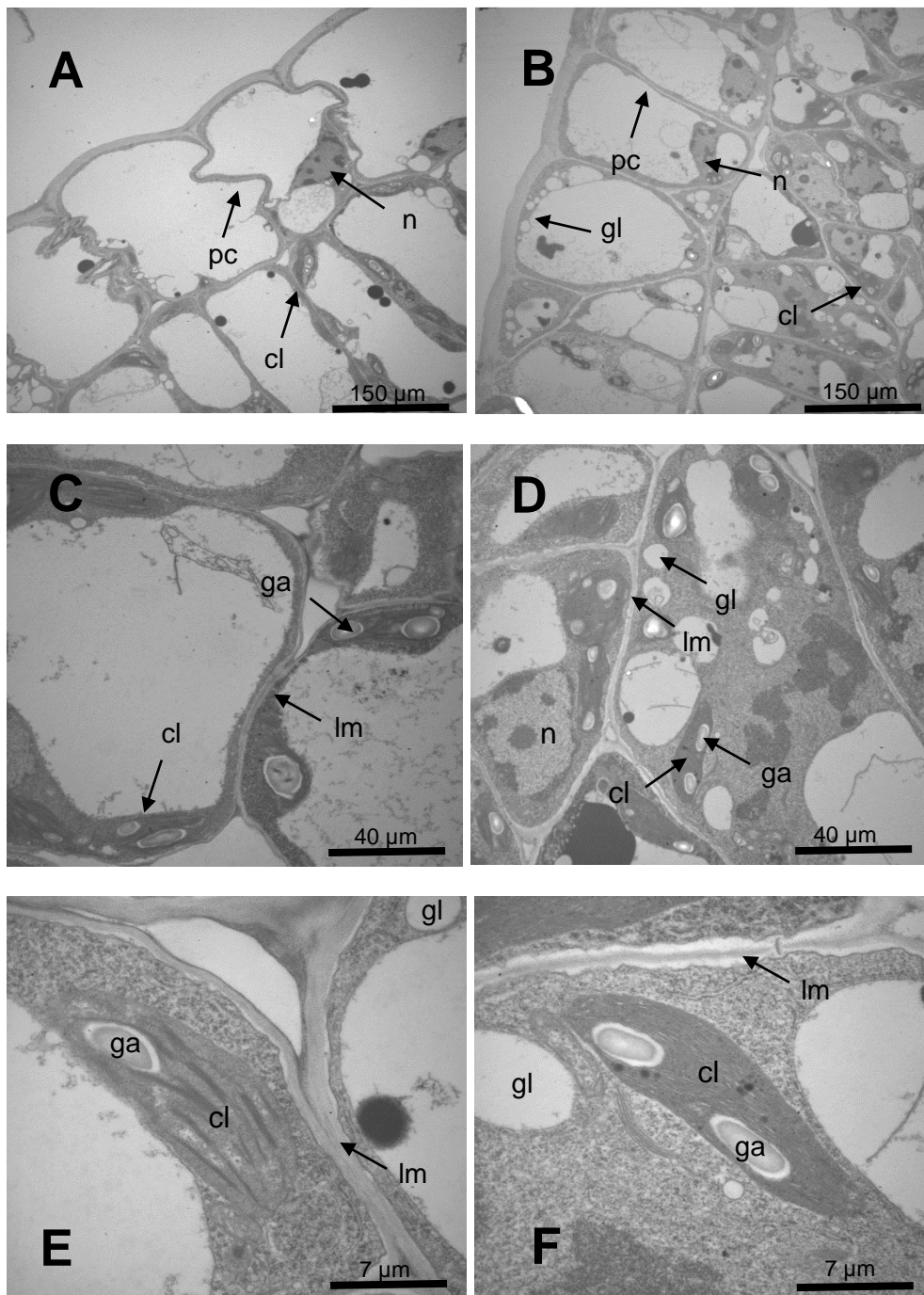


Figura 13. Análise ultra-estrutural do mesófilo foliar de plantas de Maracujá. Aspecto geral da célula do tecido foliar: Omissão de Boro (A) e Tratamento Completo (B); parte da célula: Omissão de Boro (C) e (E), e Tratamento Completo (D)

e (F); cl: cloroplastos; lm: lamela média; n: núcleo; gl: glóbulos de lipídeos; ga: grânulos de amido; pc: parede celular; T: Tilacóides.

Outro sintoma identificado foi a deformação e permeabilidade da parede celular e da membrana plasmática, em comparação com o tratamento completo (Figura 13). O papel principal do B é amplamente reconhecido como componente estrutural que confere estabilidade ao parede celular e membrana de plasmática (WARINGTON, 1923). Recentemente, a localização e os mecanismos de síntese RGII e reticulação borato foram clarificados através da identificação de enzimas essenciais para a síntese R3II e reguladores, incluindo transportadores B, que foram necessários para uma formação eficiente dos RGII (FUNAKAWA; MIWA, 2015). Cakmak, Kurz e Marschner (1995), indicaram que o aumento B induzida pela deficiência na permeabilidade da membrana a diferentes solutos citosólicas pode refletir a modificação e lesão da estrutura da membrana por fenólicos acumulados e seus produtos de oxidação, isto é, quinonas e radicais livres. Rescisão de vazamento de soluto pelo reabastecimento de B para folhas deficientes neste elemento pode ser o resultado de a inativação (desintoxicação) de compostos fenólicos pela formação de complexos de fenol-borato estáveis e, assim, a repressão da oxidação do fenol. No entanto, recentemente Pfeffer, Dannel e Römheld (1998), a trabalhar com folhas de girassol deficientes em B, observou-se que B não faz manter a integridade da membrana plasmática por fenóis complexantes e inibição da polifenol oxidase (PPO) de atividade prevenir danos causados pelos radicais livres de oxigênio ou pela regulação metabolismo de ascorbato. Os autores concluíram que B tem uma função direta na membrana, o que pode ser tanto uma estimulação de enzimas

relacionadas com a membrana responsáveis pelo potencial de membrana, transporte de íons, e redox apoplásmicos, ou um papel estrutural semelhante ao demonstrado na parede celular

4.5.3 Manganês

Á deficiência de Mn apresentou menor número de cloroplastos de acordo no tratamento com a omissão com relação ao tratamento completo; porém não houve diferencia no número de grânulos de amidos, glóbulos de lipídeos e forma dos cloroplastos (Figura 14).

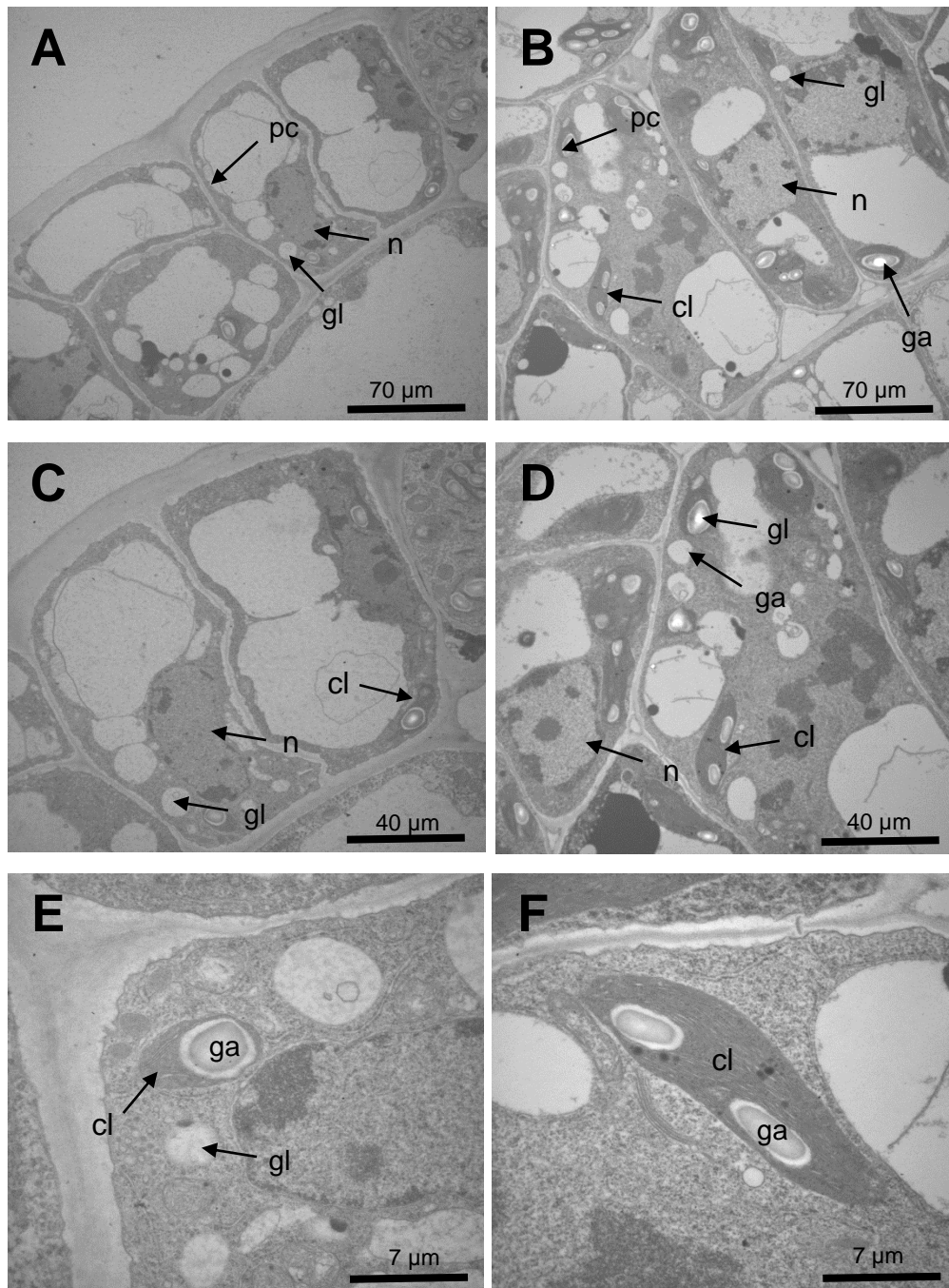


Figura 14. Análises ultra-estrutural do mesófilo foliar de plantas de Maracujá. Aspecto geral da célula do tecido foliar: Omissão de Manganês (A) e Tratamento Completo (B); parte da célula: Omissão de Manganês (C) e (E), e Tratamento Completo (D) e (F); cl: cloroplastos; lm: lamela média; n: núcleo; gl: glóbulos de lipídeos; ga: grânulos de amido; pc: parede celular.

Os cloroplastos do tratamento com deficiência de Mn mostraram sinais de desorganização estrutural, resultados parecidos foram feitos por Anderson e Boardman (1966), trabalhando com isolamento de cloroplastos em espinafre, diminuindo o número de cloroplastos e redução do seu tamanho, o sistema de membranas tilacóides dos cloroplastos se torna desorganizado, diminuição do comprimento dos cloroplastos, enquanto o diâmetro dos tilacóides tende a grana aumentar (PALACIOS et al., 1998; PFEFFER et al., 1998) e uma diminuição nos grânulos de amido (Figura 14) (WU, 1994). Acredita-se que tal rearranjo estrutural dos cloroplastos e seus tilacóides para facilitar os processos de reparação do Fotossistema II (PSII), proporcionando uma melhor acessibilidade para proteases e proteínas de reparação à PSII danificado (KIRCHHOFF, 2014). A recuperação eficiente de PSII é fundamental para manter a funcionalidade do PSII sob condições ambientais variáveis entre estas de deficiência de Mn.

4.5.4 Ferro

A deficiência de Fe mostrou uma diminuição no número de cloroplasto, pode-se observar menor número e tamanho dos grânulos de amidos (Figura 15). É bem conhecido a função do ferro como ativador do processo de fotossíntese, conteúdo de clorofila e na capacidade no transporte de elétrons (KIRCHHOFF, 2014). No interior das células das células o Fe é armazenado nos cloroplastos, na planta, aproximadamente 80% deste nutriente encontra-se nas células fotossintetizantes (HÄNSCH; MENDEL, 2009).

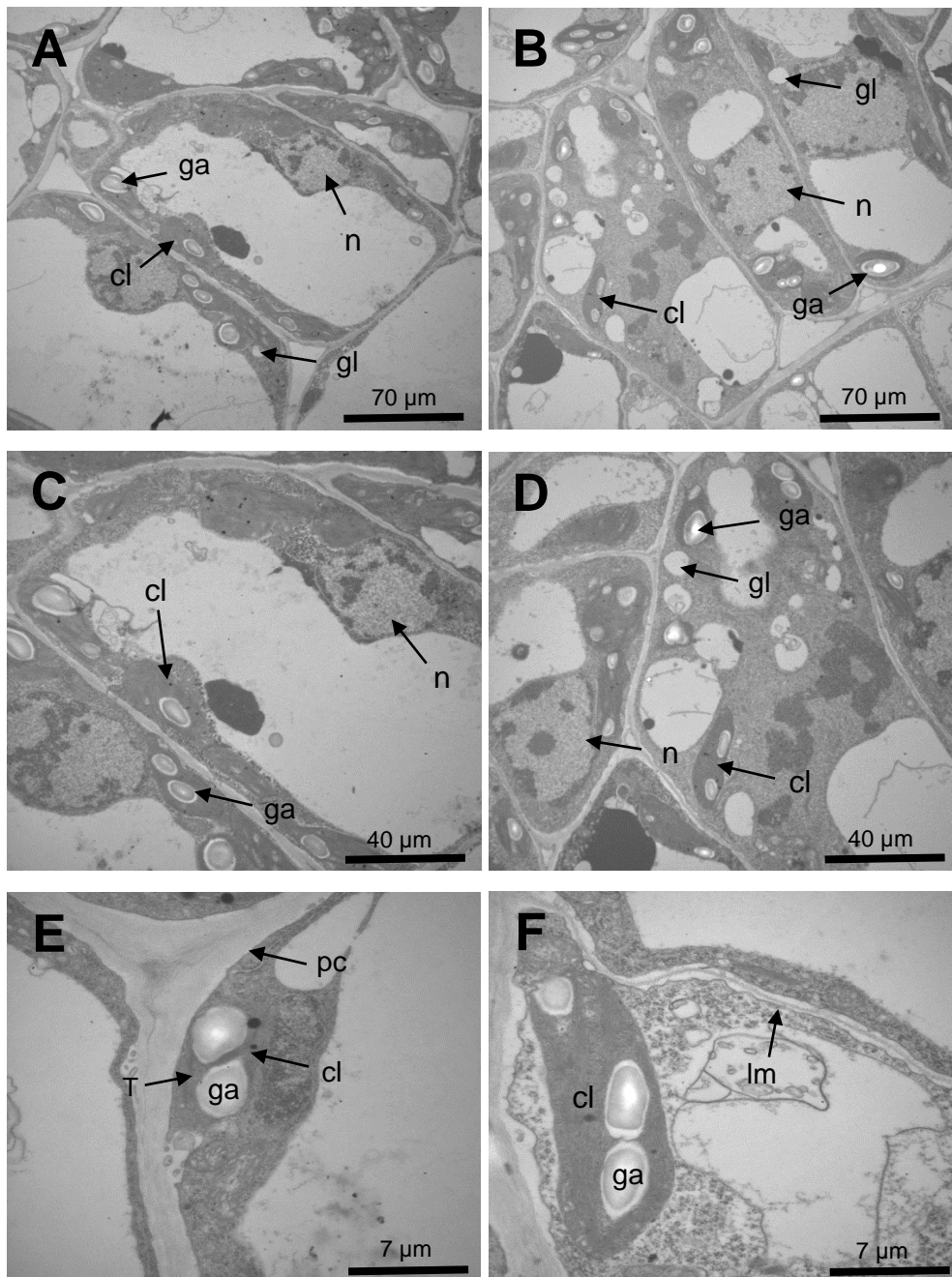


Figura 15. Análise ultra-estrutural do mesófilo foliar de plantas de Maracujá. Aspecto geral da célula do tecido foliar: Omissão de Ferro (A) e Tratamento Completo (B); parte da célula: Omissão de Ferro (C) e (E), e Tratamento Completo (D) e (F); cl: cloroplastos; lm: lamela média; n: núcleo; gl: glóbulos de lipídeos; ga: grânulos de amido; pc: parede celular; T: Tilacóides.

Uma característica é a clorose foliar causada na biossíntese de clorofila (ABADIA; MORALES; ABADÍA, 1999); Criando desorganização dos complexos fotossintéticos e alteração na estrutura das mitocôndrias e dos cloroplastos. Note-se a redução de grânulos de amido no tratamento com omissão de ferro, em comparação com o tratamento com ferro (Figura 15); também foram observados efeitos morfofisiológicos em deficiência e excesso de Fe sob estratégia I e II, que também observaram uma diminuição do número de tilacóides no tratamento com omissão de Fe do que o tratamento completo (BRIAT et al., 1995).

4.5.5 Zinco

As células em paliçada do tratamento com omissão de Zn tiveram um maior espaçamento intercelular, arranjo de células soltas, com menor quantidade de cloroplastos e menor tamanho destes do que o tratamento completo; com perda da integridade celular e desaparecimento de órgãos internos (Figura 16).

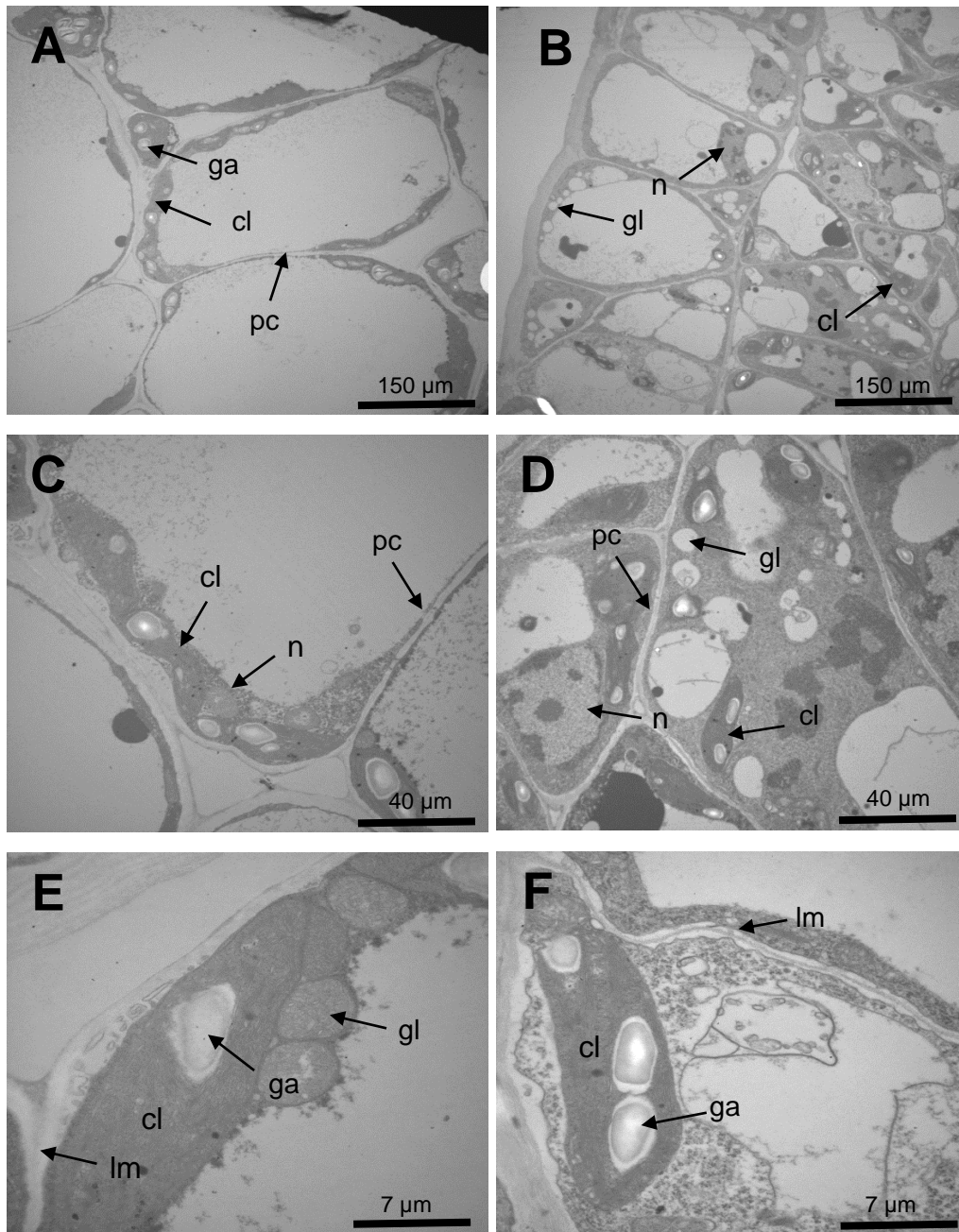


Figura 16. Análise ultra-estrutural do mesófilo foliar de plantas de Maracujá. Aspecto geral da célula do tecido foliar: Omissão de Zinco (A) e Tratamento Completo (B); parte da célula: Omissão de Zinco (C) e (E), e Tratamento Completo (D) e (F); cl: cloroplastos; lm: lamela média; n: núcleo; gl: glóbulos de lipídeos; ga: grânulos de amido; pc: parede celular.

Houve também diminuição de grânulos de amidos com tamanho pequeno no tratamento com omissão de zinco. De acordo com (CAKMAK, 2000) o excesso de transferência de elétrons e indução de Oxigênio induzido pela desorganização dos cloroplastos e a deficiência de Zn poderia agravar a produção de ROS (Espécies Reativas de Oxigênio), O que poderia causar mais danos às membranas, destrói a estrutura da clorofila e inibir a capacidade fotossintética, produzindo clorose nas folhas (DAUB et al., 2013).

4.5.6 Cobre

O tratamento com omissão de Cu apresentou maior número de grânulos de amido comparado com o tratamento completo e menor número de cloroplastos com um desarranjo a nível ultra-estrutural, com cloroplastos inchados (Figura 17). Houve menor número e tamanho dos cloroplastos, isto ocorre por maior inibição do fotossistema I (PSI), indicando que a plastocianina é o único local de ocorrência de cobre na cadeia de transporte de elétrons.

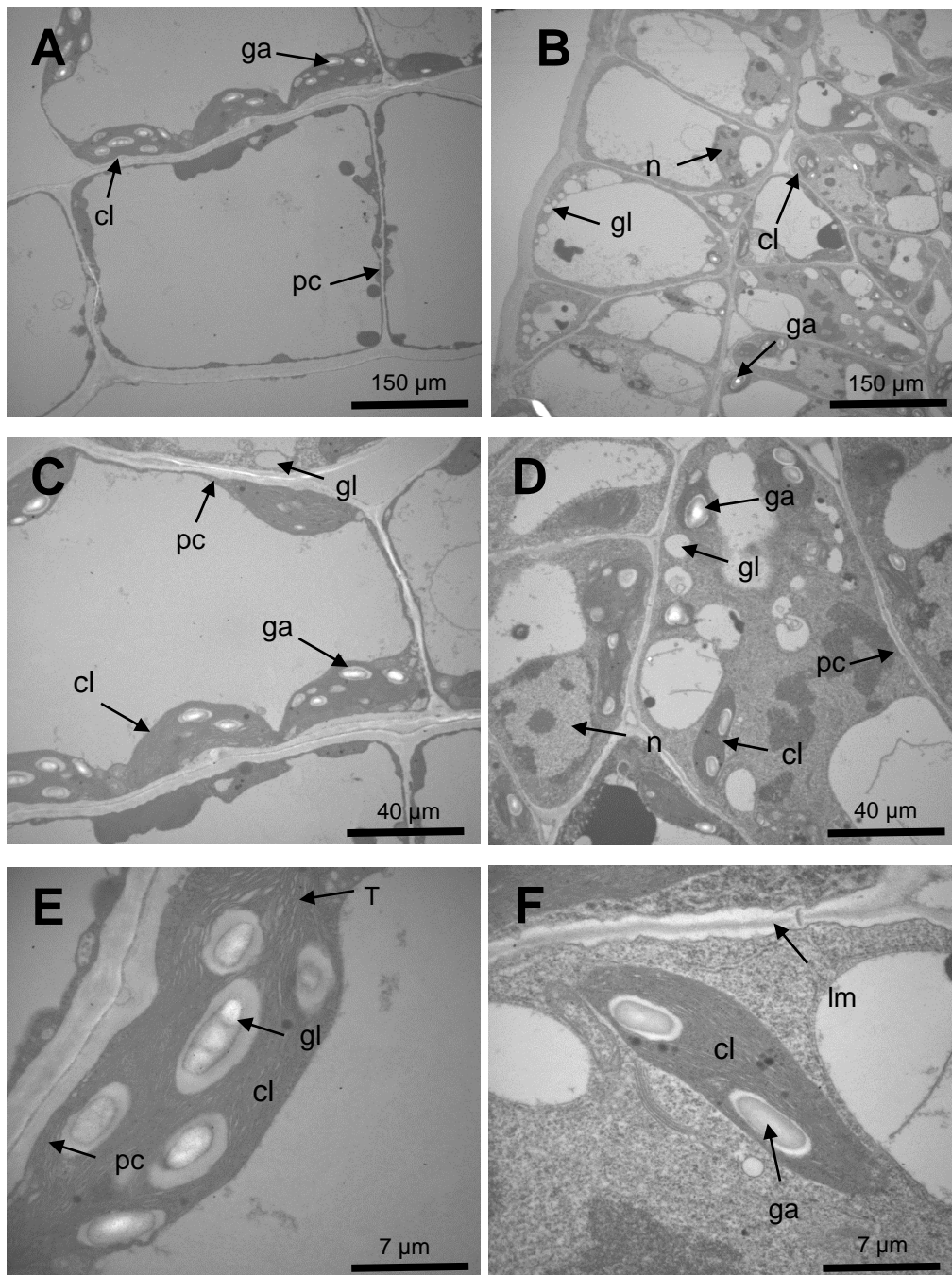


Figura 17. Análise ultra-estrutural do mesófilo foliar de plantas de Maracujá. Aspecto geral da célula do tecido foliar: Omissão de Cobre (A) e Tratamento Completo (B); parte da célula: Omissão de Cobre (C) e (E), e Tratamento Completo (D) e (F); cl: cloroplastos; lm: lamela média; n: núcleo; gl: glóbulos de lipídeos; ga: grânulos de amido; pc: parede celular; T: Tilacóides.

Trabalho feito por Baszyński et al. (1978) determinando o efeito da deficiência do Cu na biossíntese de clorofila em aveia e espinafre, eles acharam distúrbios principalmente dentro das lamelas do estroma nos tilacóides; neste trabalho se observou desarranjo nos tilacóides com agrupamento ao redor dos grânulos de amidos. Uma forte inibição da atividade do fotossistema I, parece estar de acordo com a opinião de Baszyński et al. (1982), sobre a distribuição do fotossistema em granas e lamelas dos estromas; isto indica que a deficiência de cobre afeta a luz reação principal pela diminuição na atividade fotossintética ligado ao fotossistema I e em uma desintegração das membranas dos tilacóides, estroma principalmente lamelas.

4.5.7 Molibdênio

A omissão de Mo promoveu alterações ultra-estruturais na célula do mesofilo (Figura 18). Na avaliação ultra-estrutural, verificou-se que as células das plantas cujo tratamento foi a de carência em Mo apresentou aumento dos grânulos de amido, segundo [25], as plantas deficientes em Mo apresentaram as seguintes alterações no cloroplasto: aumento e dilatação, acompanhada por redução no número de granas e tilacóides menores (Figura 18).

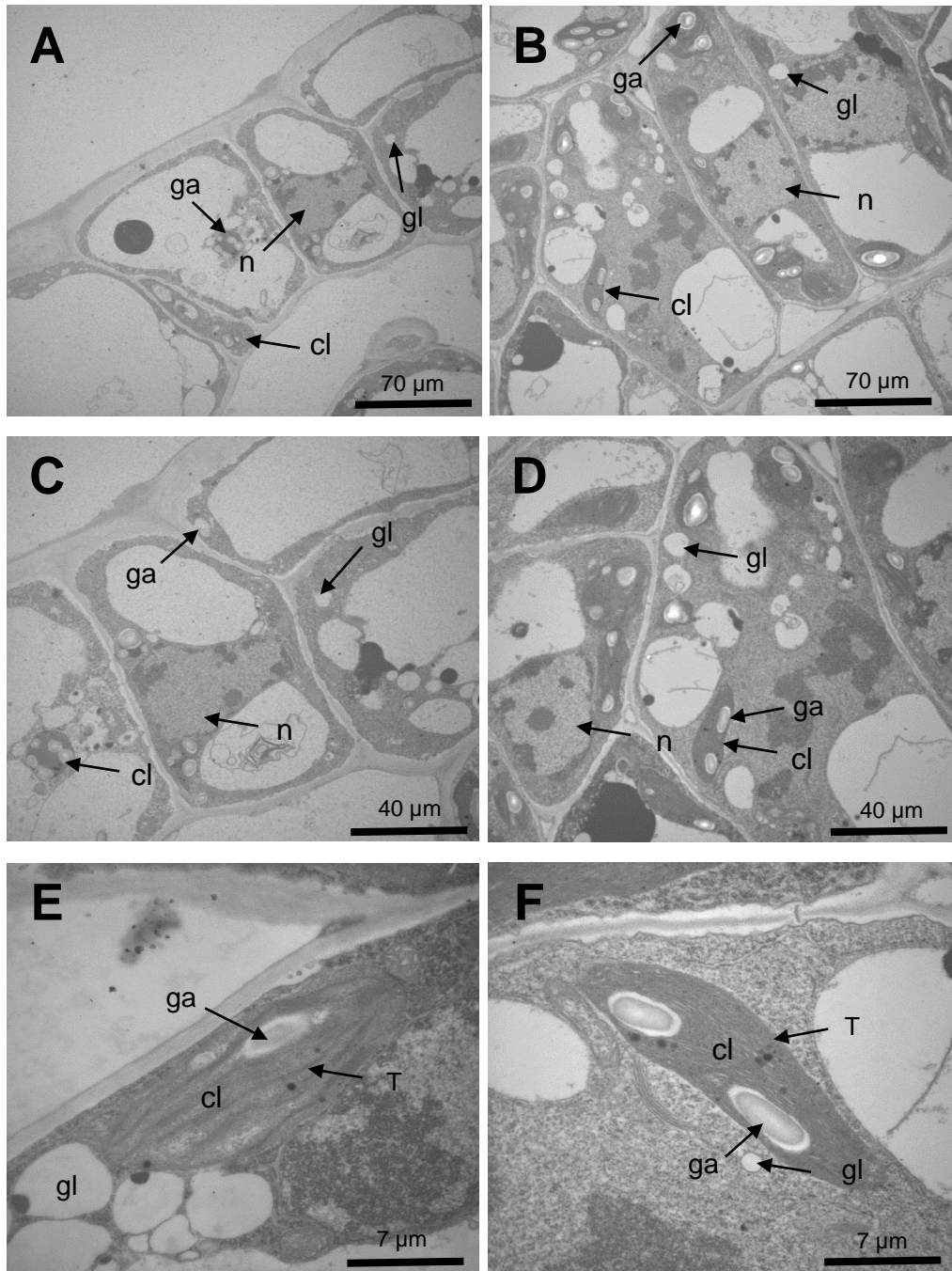


Figura 18. Análise ultra-estrutural do mesófilo foliar de plantas de Maracujá. Aspecto geral da célula do tecido foliar: Omissão de Molibdênio (A) e Tratamento Completo (B); parte da célula: Omissão de Molibdênio (C) e (E), e Tratamento

Completo (D) e (F); cl: cloroplastos; lm: lamela média; n: núcleo; gl: glóbulos de lipídeos; ga: grânulos de amido; pc: parede celular; T: Tilacóides.

Resultados parecidos concordam ademais de que se apresentam manchas escuras no interior dos cloroplastos (SORREANO, 2006). Isto de acordo a que o Mo tem a ver com a assimilação ou a utilização do nitrogênio (MENDEL; SCHWARZ, 2011), e podem estar relacionadas com o acúmulo de nitrato na célula devido à ausência de Molibdênio (TAIZ; ZEIGER, 2004).

5. CONCLUSÕES

A ordem de manifestação das deficiências no experimento foram as seguintes: Fe>Mn>Zn>Cu>Mo>B; a toxicidade de Ni apareceu aos 40 dias de montado o experimento nos vasos com sintomas de clorose nas folhas novas, logo um amarelecimento geral e algumas partes brancas.

Todos os tratamentos mostraram redução da matéria seca com relação ao tratamento completo, e obtiveram teores baixos de cada elemento em omissão, o que se traduziu em na visualização da deficiência com seus respectivos sintomas.

A omissão de Fe refletiu problemas pela formação de pêlos radicais e subapicais, observando-se maior formação destes em condições de deficiência do elemento.

As observações no microscópio eletrônico de transmissão mostraram em todos os tratamentos um desarranjo e desorganização a nível ultra-estrutural, nas organelas como os cloroplastos, parede celular, grânulos de amidos, grânulos de lipídeos, núcleo, afetando o funcionamento da célula e causando problemas fisiológicos que refletem no desenvolvimento do maracujazeiro.

As variáveis fisiológicas mostraram diferenças entre os tratamentos, os quais foram afetados quando se omitiu o elemento nutricional e no momento da adição do Níquel que produz toxicidade na planta.

6. REFERÊNCIAS

ABADÍA, J.; MORALES, F.; ABADÍA, A. Photosystem II efficiency in low chlorophyll, iron-deficient leaves. **Plant and Soil**, Oklahoma, v. 215, n. 2, p. 183-192, 1999. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1023/A:1004451728237>>.

ABDEL-BASSET, R.; ISSA, A. A.; ADAM, M. S. Chlorophyllase activity: effects of heavy metals and calcium. **Photosynthetica**, Dordrech, v. 31, n. 3, p. 421-425, 1995.

ÁLVAREZ-FERNÁNDEZ, A.; GÁRATE, A.; JUAREZ, M.; LUCENA, J. J. Tomato acquisition of iron from iron chelates in a calcareous sandy substrate. **Journal of Plant Nutrition**, Davis, v. 19, n. 8-9, p. 1279-1293, 1996. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/01904169609365198>>.

ATTA-ALY, M. A. Effect of nickel addition on the yield and quality of parsley leaves. **Scientia Horticulturae**, Kentucky, v. 82, n. 1, p. 9-24, 1999. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/S0304-4238\(99\)00032-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0304-4238(99)00032-1)>.

BARROS, J.; SERK, H.; GRANLUND, I.; PESQUET, E. The cell biology of lignification in higher plants. **Annals of botany**, Oxford, v. 115, n. 7, p. 1053-1074, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1093/aob/mcv046>>.

BASTÍAS, E.; GONZÁLEZ-MORO, M. B.; GONZÁLEZ-MURUA, C. Interactive effects of excess boron and salinity on histological and ultrastructure leaves of *Zea mays* amylacea from Lluta Valley (Arica-Chile). **Ciencia e Investigación Agraria**, Santiago, v. 40, n. 3, p. 581-595, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4067/rcia.v40i3.1168>>.

BASZYŃSKI, T.; RUSZKOWSKA, M.; KRÓL, M.; TUKENDORF, A.; WOLIŃSKA, D. The effect of copper deficiency on the photosynthetic apparatus of higher plants. **Zeitschrift für Pflanzenphysiologie**, Berlin, v. 89, n. 3, p. 207-216, 1978.

BASZYŃSKI, T.; KRÓL, M.; KRUPA, Z.; RUSZKOWSKA, M.; WOJCIESKA, U.; WOLIŃSKA, D. Photosynthetic apparatus of spinach exposed to excess copper. **Zeitschrift für Pflanzenphysiologie**, Berlin, v. 108, n. 5, p. 385-395, 1982. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/S0044-328X\(82\)80163-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0044-328X(82)80163-3)>.

BAHATTACHARYA, A.; BAHATTACHARYA S. Induction of oxidative stress by arsenic in *Clarias batrachus*: involvement of peroxisomes. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, Amsterdam, v. 66, p. 178:187, 2007. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2005.11.002>>.

BIANCO, M. S.; CECÍLIO FILHO, A. B.; DE CARVALHO, L. B. Nutritional Status of the Cauliflower Cultivar 'Verona' Grown with Omission of out Added Macronutrients. **PLOS ONE**, San Francisco, v. 10, n. 4, p. e0123500, 2015. Disponível em <<http://dx.doi.org/sci-hub.cc/10.1371/journal.pone.0123500>>.

BIENFAIT, H. F. Mechanisms in Fe-efficiency reactions of higher plants. **Journal of Plant Nutrition**, Davis, v. 11, n. 6-11, p. 605-629, 1988. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/01904168809363828>>.

BRIAT, J. F.; FOBIS-LOISY, I.; GRIGNON, N.; LOBRÉAUX, S.; PASCAL, N.; SAVINO, G.; VAN WUYTSWINKEL, O. Cellular and molecular aspects of iron metabolism in plants. **Biology of the Cell**, Bethesda, v. 84, no 1-2, p. 69-81, 1995. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/0248-4900\(96\)81320-7](http://dx.doi.org/10.1016/0248-4900(96)81320-7)>.

CAKMAK, I.; KURZ, H.; MARSCHNER, H. Short-term effects of boron, germanium and high light intensity on membrane permeability in boron deficient leaves of sunflower. **Physiologia Plantarum**, Avon, v. 95, n. 1, p. 11-18, 1995. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1111/j.1399-3054.1995.tb00801.x>>.

CAKMAK, I. Possible roles of zinc in protecting plant cells from damage by reactive oxygen species. **New Phytologist**, Norwich, p. 185-205, 2000.

CANCEL, J. D.; LARSEN, P. B. Loss-of-Function Mutations in the Ethylene Receptor ETR1 Cause Enhanced Sensitivity and Exaggerated Response to Ethylene in Arabidopsis. **Plant Physiology**, New York, v. 129, n. 4, p. 1557-1567, 2002. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1104/pp.003780>>.

CARVALHO, A.J.C DE.; MARTINS, D. P.; MONNERAT, P. H.; BERNARDO, S. A. L. A. S. S. I. E. R.; SILVA, J. D. Teores de nutrientes foliares no maracujazeiro-amarelo associados à estação fenológica, adubação potássica e lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 23, n. 2, p. 403-408, 2001.

CHEN, L.; ZHAO, X.; DING, C.; WANG, S.; DING, Y. 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, v. 33, n. 4, p. 769-777, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s00344-014-9424-2>>.

DAUB, M. E.; HERRERO, S.; CHUNG, K. R. Reactive oxygen species in plant pathogenesis: the role of perylenequinone photosensitizers. **Antioxidants & redox signaling**, Columbus, v. 19, n. 9, p. 970-989, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1089/ars.2012.5080>>.

DELL, B.; HUANG, L. Physiological response of plants to low boron. **Plant and soil**, Oklahoma, v. 193, n. 1-2, p. 103-120, 1997. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1023/A:1004264009230>>.

DIXON, N. E.; GAZZOLA, C.; BLAKELEY, R. L.; ZERNER, B. Jack bean urease (EC 3.5.1.5). Metalloenzyme. Simple biological role for nickel. **Journal of the American Chemical Society**, Washington, v. 97, n. 14, p. 4131-4133, 1975.

DONG, T.; XIA, R.; XIAO, Z.; WANG, P.; SONG, W. 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, v. 121, n. 3, p. 272-277, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2009.02.003>>.

DONG, X.; LIU, G.; WU, X.; LU, X.; YAN, L.; MUHAMMAD, R.; JIANG, C. Different metabolite profile and metabolic pathway with leaves and roots in response to boron deficiency at the initial stage of citrus rootstock growth. **Plant Physiology and Biochemistry**, Montpellier, v. 108, p. 121-131, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.plaphy.2016.07.007>>.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Mineral nutrition of plants: principles and perspectives**. 2. Sunderland: Sinauer, 2005. p. 220-235.

FINDEKLEE, P.; GOLDBACH, H. E. Rapid effects of boron deficiency on cell wall elasticity modulus in Cucurbita pepo roots. **Plant Biology**, Malden, 1996, v. 109, n. 6, p. 463-465. Disponível em: <<http://doi:10.1111/j.1438-8677.1996.tb00599.x>>.

FLEXAS, J.; MEDRANO, H. Drought-inhibition of photosynthesis in C3 plants: stomatal and non-stomatal limitations revisited. **Annals of botany**, Oxford, v. 89, n. 2, p. 183-189, 2002. Disponível em: <<https://doi.org/10.1093/aob/mcf027>>.

FONSECA, E. B. A.; CARVALHO, J. D.; PASQUAL, M.; CORRÊA, J. B. D Concentração de micronutrientes em mudas de maracujazeiro-doce propagado por sementes em função da calagem. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, p. 43-51, 2005. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542005000100005>>.

FONSECA, P. C. D. **Nem ortodoxia nem populismo: o segundo governo Vargas e a economia brasileira**. *Tempo-revista do departamento de História da uFF*, Rio de Janeiro, v. 14, p. 19-58, 2010.

FREITAS, M. S. M.; ONNERAT, P. H.; CARVALHO, A. D.; VASCONCELLOS, M. A. S. Sintomas visuais de deficiência de macronutrientes e boro em maracujazeiro-doce. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, n. 4, p. 1329-1341, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452011000400034>>.

FUNAKAWA, H.; MIWA, K. Synthesis of borate cross-linked rhamnogalacturonan II. **Frontiers in plant science**, Fribourg, v. 6, p. 223, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00223>>.

FURLANI, A. M. C. Nutrição mineral. In: KERBAUY, G. B. (ed.) **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro: Koogan, 2004. p. 40-75 .

FU, X. Y.; MO, W. P.; ZHANG, J. Y.; ZHOU, L. Y.; WANG, H. C.; HUANG, X. M. Shoot growth pattern and quantifying flush maturity with SPAD value in litchi (*Litchi chinensis* Sonn.). **Scientia Horticulturae**, Kentucky, v. 174, p. 29-35, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2014.04.029>>.

GAMA, F.; SAAVEDRA, T.; DA SILVA, J. P.; MIGUEL, M. G.; DE VARENNES, A.; CORREIA, P. J.; PESTANA, M. The memory of iron stress in strawberry plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, Paris, v. 104, p. 36-44, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.plaphy.2016.03.019>>.

GONZÁLEZ, I.; MUENA, V.; CISTERNAS, M.; NEAMAN, A. Acumulación de cobre en una comunidad vegetal afectada por contaminación minera en el valle de Puchuncaví, Chile central. **Revista chilena de história natural**, Santiago, v. 81, n 2, p. 279-291, 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4067/S0716-078X2008000200010>>.

GRATÃO, P. L.; PRASAD, M. N. V.; CARDOSO, P. F.; LEA, P. J.; AZEVEDO, R. A. Phytoremediation: green technology for the clean-up of toxic metals in the environment. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Campinas, v. 17, n. 1, p. 53-64, 2005. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1677-04202005000100005>>.

GUPTA, U. C.; FERREIRA, M.; CRUZ, M.; RAIJ, B. V.; ABREU, C. **Micronutrientes e elementos tóxicos em plantas e animais. Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal, CNPq/FAPESP/POTAFOS, v. 1, p. 13-43, 2001.

GWANPUA, S. G.; VERLINDEN, B. E.; HERTOOG, M. L.; NICOLAI, B. M.; HENDRICKX, M.; GEERAERD, A. Slow softening of Kanzi apples (*Malus domestica L.*) is associated with preservation of pectin integrity in middle lamella. **Food chemistry**, London, v. 211, p. 883-891, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.05.138>>.

HAAG, H. P.; DE OLIVEIRA, G. D.; BORDUCCHI, A. S.; SARRUGE, J. R. Absorção de nutrientes por duas variedades de maracujá. **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, Piracicaba, v. 30, p. 267-279, 1973.

HANNAM, R. J.; OHKI, K. Detection of manganese deficiency and toxicity in plants. En Manganese in soils and plants. **Springer**, Amsterdam, p. 243-259, 1988. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/978-94-009-2817-6_17>.

HÄNSCH, R.; MENDEL, R. R. Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl). **Current opinion in plant biology**, Cambridge v. 12, n. 3, p. 259-266, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.pbi.2009.05.006>>.

HELBIG, M.; WISCHNEWSKI, K.; GOSELIN, G. H.; BIRAUD, S. C.; BOGOEV, I.; CHAN, W. S.; SONNENTAG, O. Addressing a systematic bias in carbon dioxide flux measurements with the EC150 and the IRGASON open-path gas analyzers. **Agricultural and Forest Meteorology**, Salt Lake City, v. 228, p. 349-359, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2016.07.018>>.

HILLE, R. The mononuclear molybdenum enzymes. **Chemical reviews**, Washington, v. 96, n. 7, p. 2757-2816, 1996. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1021/cr950061t>>.

HOAGLAND, D. R.; ARNON, D. I. **The water culture method for growing plants without soils**. Berkeley: California Agricultural Experimental Station, 1950. p. 347.

HUANG, S. S.; KIRCHOFF, B. K.; LIAO, J. P. Effect of heat shock on ultrastructure and calcium distribution in *Lavandula pinnata L.* glandular trichomes. **Protoplasma**, Wien, v. 250, p. 185-196, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi:10.1007/s00709-012-0393-7>>.

HU H.; BROWN, P.H. Localization of boron in cell walls of squash and tobacco and its association with pectin. **Plant Physiology**, Rockville, v.105, p.681-689, 1994. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1104/pp.105.2.681>>.

HUGHES, M. P.; MLAMBO, V.; LALLO, C. H.; BASHA, N. A.; NS AHLAI, I. V.; JENNINGS, P. G. Accuracy of two optical chlorophyll meters in predicting chemical composition and in vitro ruminal organic matter degradability of Brachiaria hybrid, Megathyrus maximus, and Paspalum atratum. **Animal Nutrition**, Beijing, v. 1, p. 1-10, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.aninu.2016.10.002>>.

JUNIOR, C. H.; REZENDE, R.; DE FREITAS, P. S. L.; GONÇALVES, A. C. A.; FRIZZONE, J. A. Influência da condutividade elétrica, concentração iônica e vazão de soluções nutritivas na produção de alface hidropônica. **Ciência e agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 4, 2008.

JÚNIOR, S. G. **Relação amônio e nitrato, mitigação da toxicidade amoniacal com silício e curva de acúmulo de nutrientes em mudas de maracujazeiro**. 2015. 69f. Tese (Doutorado em Agronomia – Produção vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2015.

KABATA-PENDIAS, A. Soil–plant transfer of trace elements—an environmental issue. **Geoderma**, Michigan, v. 122, n. 2, p. 143-149, 2004. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.01.004>>.

KIRCHHOFF, H. Structural changes of the thylakoid membrane network induced by high light stress in plant chloroplasts. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, London v. 369, n. 1640, p. 20130225, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2013.0225>>.

KIRKBY, E. A.; RÖMHELD, V. Micronutrientes na fisiologia de plantas: funções, absorção e mobilidade. **Informações agronômicas**, v. 118, n. 2, p. 1-24, 2007.

KOBAYASHI, K.; KANEDA, K.; KASAMA, T. Immunopathogenesis of delayed-type hypersensitivity. **Microscopy research and technique**, Hoboken, v. 53, n. 4, p. 241-245, 2001. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1002/jemt.1090>>.

KOT, F. S.; FARRAN, R.; FUJIWARA, K.; KHARITONOVA, G. V.; KOCHVA, M.; SHAVIV, A.; SUGO, T. On boron turnover in plant–litter–soil system. **Geoderma**, Michigan, v. 268, p. 139-146, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.01.022>>.

KRAUSE, W.; NEVES, L. G.; VIANA, A. P.; ARAÚJO, C. A. T.; FALEIRO, F. G. Produtividade e qualidade de frutos de cultivares de maracujazeiro-amarelo com ou sem polinização artificial. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 12, p. 1737-1742, 2013.

KRUPA, Z.; KRUPA, Z.; SIEDLECKA, A.; MAKSYMIEC, W.; BASZYŃSKI, T. In vivo response of photosynthetic apparatus of *Phaseolus vulgaris* L. to nickel toxicity. **Journal of Plant Physiology**, Leipzig, v. 142, n. 6, p. 664-668, 1993. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/S0176-1617\(11\)80899-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0176-1617(11)80899-0)>.

KUKKOLA, E.; HUTTUNEN, S. Structural observations on needles exposed to elevated levels of copper and nickel. **Chemosphere**, Oxford, v. 36, n. 4-5, p. 727-732, 1998. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/S0045-6535\(97\)10115-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0045-6535(97)10115-1)>.

LANDSBERG, E. C. Hormonal regulation of iron-stress response in sunflower roots: a morphological and cytological investigation. **Protoplasma**, Graz, v. 194, n. 1-2, p. 69-80, 1996. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/BF01273169>>.

LANGE, A.; MARTINES, A. M.; SILVA, M. D.; SORREANO, M. C. M.; CABRAL, C. P.; MALAVOLTA, E. Efeito de deficiência de micronutrientes no estado nutricional da mamoneira cultivar Iris. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 1, p. 61-67, 2005. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2005000100009>>.

LI, H.; WANG, L.; YANG, Z. M. Co-expression analysis reveals a group of genes potentially involved in regulation of plant response to iron-deficiency. **Gene**, Amsterdam, v. 554, n. 1, p. 16-24, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.gene.2014.10.004>>.

LIOPA-TSAKALIDI, A.; BAROUCHAS, P.; SALAHAS, G. Response of Zucchini to the Electrical Conductivity of the Nutrient Solution in Hydroponic Cultivation. **Agriculture and Agricultural Science Procedia**, Chiang Mai v. 4, p. 459-462, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.aaspro.2015.03.053>>.

LÄUCHLI, A.; BIELESKI, R. L. **Inorganic plant nutrition**. Springer: Berlin, 1983. p. 449.

LI, W.X.; CHEN, T.B.; HUANG, Z.C.; LEI M.; LIAO, X.Y. Effect of arsenic on chloroplast ultrastructure and calcium distribution in arsenic hyperaccumulator *Pteris vittata* L. **Chemosphere**, Atlanta, v. 62, p. 803-809, 2006. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.04.055>>.

LIU, J.; ZHU, J.K. Proline accumulation and salt-stress-induced gene expression in a salt-hypersensitive mutant of *Arabidopsis*. **Plant Physiology**, New York, v. 114, n. 2, p. 591-596, 1997. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1104/pp.114.2.591>>.

LIU, G.; DONG X.; LIU L.; WU L.; JIANG C. Boron deficiency is correlated with changes in cell wall structure that lead to growth defects in the leaves of navel orange plants. **Scientia Horticulturae**, Kentucky, vol. 176, p. 54-62, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2014.06.036>>.

LONERAGAN, J. F. **Distribution and movement of manganese in plants. Manganese in soils and plants**, p. 113-124, 2012.

MALAVOLTA, E.; HAAG, H. P.; MELLO, F. D.; BRASIL SOBRINHO, M. O. C. **Nutrição mineral de algumas culturas tropicais**. Pioneira, Universidade de São Paulo, 1967.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafos, 1997. p. 280-313.

MARSCHNER, H. **General Introduction to the mineral nutrition of plants. En: Inorganic plant nutrition.** Berlín: Springer Heidelberg, 1983. p. 5-60.

MARSCHNER, H. **Functions of mineral nutrients: macronutrients. Mineral nutrition of higher plants.** New York: Academic Press; 1995. p. 105-138

METELLI, L.M.M. Produção de frutíferas tropicais. **Guaíba: Agropecuária**, p. 170-178, 2000

MELETTI, L. M. M. Avanços na cultura do maracujá no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, 2011, v. 33, n. 1, p. 83-91, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452011000500012>>.

MARTÍNEZ-RUIZ, E. B.; MARTÍNEZ-JERÓNIMO, F. Nickel has biochemical, physiological, and structural effects on the green microalga *Ankistrodesmus falcatus*: An integrative study. **Aquatic Toxicology**, Amsterdam, v. 169, p. 27-36. 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.aquatox.2015.10.007>>.

MATTOS Jr, D.; RAMOS, U. M.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, P. R. Nitrogen and copper for citrus nursery production on two different rootstocks. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 1, p. 135-147, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052010000100018>>.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Copper, further elements of importance. Principles of Plant Nutrition.** Leeds: Springer, 1987, v. 4, p. 537-588. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/978-94-010-1009-2_19>.

MENDEL, R. R.; SCHWARZ, G. Molybdenum cofactor biosynthesis in plants and humans. **Coordination Chemistry Reviews**, Oxford, v. 255, n. 9, p. 1145-1158, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ccr.2011.01.054>>.

MENDEL, R. R. Cell biology of molybdenum in plants. **Plant cell reports**, Cambridge, v. 30, n. 10, p. 1787-179, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.bbamcr.2012.02.007>>.

MITCHELL, R. L. Cobalt and nickel in soils and plants. **Soil science**, v. 60, n. 1, p. 63-70, 1945.

MOLAS, J. Changes in morphological and anatomical structure of cabbage (*Brassica oleracea* L.) outer leaves and in ultrastructure of their chloroplasts caused by an in vitro excess of nickel. **Photosynthetica**, Dordrech, v. 34, n. 4, p. 513-522, 1998. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1023/A:1006805327340>>.

MOLAS, J. Changes of chloroplast ultrastructure and total chlorophyll concentration in cabbage leaves caused by excess of organic Ni (II) complexes. **Environmental and Experimental Botany**, Columbus, v. 47, n. 2, p. 115-126, 2002. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/S0098-8472\(01\)00116-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0098-8472(01)00116-2)>.

NATALE, W.; PRADO, R. D. M.; LEAL, R. M.; FRANCO, C. F. Efeitos da aplicação de zinco no desenvolvimento, no estado nutricional e na produção de matéria seca de mudas de maracujazeiro. **Revista Brasileira de fruticultura**, Jaboticabal, v. 26, n. 2, p. 310-314, 2004. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452004000200031>>.

NATALE, W.; PRADO R. M.; ALMEIDA, E. V.; BARBOSA, J. C. Adubação nitrogenada e potássica no estado nutricional de mudas de maracujazeiro-amarelo. **Acta Scientiarum: agronomy**, Maringá, v. 28, n. 2, p. 187-192, 2006. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v28i2.1036>>.

NEGREIROS, JR da S.; JÚNIOR, A. W.; ÁLVARES, V. D. S.; SILVA, J. O. D. C.; NUNES, E. S.; Alexandre, R. S.; BRUCKNER, C. H. Influência do estágio de maturação e do armazenamento pós-colheita na germinação e desenvolvimento inicial do maracujazeiro-amarelo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 28, n. 1, p. 21-24, 2006. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452006000100009>>.

LIMA NETO, A. J. De. **Crescimento e acúmulo de nutrientes em porta-enxertos de caramboleira adubados com zinco**. 2014, 58 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Produção vegetal). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2014.

NEUMANN, G. The Role of Ethylene in Plant Adaptations for Phosphate Acquisition in Soils—A Review. **Frontiers in plant science**, Melbourne, v 6, p. 1-9, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.3389/fpls.2015.01224>>.

NEVES, O. S. C.; FERREIRA, E. V. D. O.; CARVALHO, J. G. D.; SOARES, C. R. F. S. Adição de níquel na solução nutritiva para o cultivo de mudas de umbuzeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 3, p. 485-490, 2007. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832007000300008>>.

OLIVEIRA, S. R.; NETO, J. A. G.; NOBREGA, J. A.; JONES, B. T. Determination of macro-and micronutrients in plant leaves by high-resolution continuum source flame atomic absorption spectrometry combining instrumental and sample preparation strategies. **Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy**, Oxford, v. 65, n. 4, p. 316-320, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.sab.2010.02.003>>.

OLSEN, S. R. **Micronutrient interactions. Micronutrients in agriculture**, 1972, p. 243-264.

O'NEILL, M.A.; WARRENFELTZ, D.; KATES, K.; PELLERIN, P.; DOCO, T.; DARVILL, A.; ALBERSHEIM, P. Rhamnogalacturonan II, a pectic polysaccharide in the walls of growing plant cells, forms a dimer that is covalently cross-linked by a borate ester. **Journal Biology Chemistry**, Rockville, v. 271, p.22923-22930, 1996. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2015.00223>>. PAIVA, H. N.; CARVALHO, J.; SIQUEIRA, J. O.; FERNANDES, A. R.; MIRANDA, J. Efeito da aplicação de doses crescentes de níquel sobre o teor e o conteúdo de nutrientes em mudas de ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa* (Mart.) Standley). **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 63, p. 158-166, 2003.

PALACIOS, G.; Gomez, I.; CARBONELL-BARRACHINA, A.; PEDREÑO, J. N.; MATAIX, J. Effect of nickel concentration on tomato plant nutrition and dry matter yield. **Journal of plant nutrition**, Davis, v. 21, n. 10, p. 2179-2191, 1998. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/01904169809365553>>.

PFEFFER, H.; DANIEL, F.; RÖMHELD, V. Are there connections between phenol metabolism, ascorbate metabolism and membrane integrity in leaves of boron-deficient

sunflower plants?. **Physiologia Plantarum**, Avon, v. 104, n. 3, p. 479-485, 1998. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1034/j.1399-3054.1998.1040325.x>>.

PRADO, R.M DE.; NATALE, W.; ROZANE, D. E. Níveis críticos de boro no solo e na planta para cultivo de mudas de maracujazeiro-amarelo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 28, n. 2, p. 305-309, 2006. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452006000200034>>.

PRIMAVESI, A. C. P. A.; MALAVOLTA, E. **Estudos sobre a nutrição mineral do maracujá amarelo: VI. Efeito dos macronutrientes no desenvolvimento e composição mineral das plantas**. Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, v. 37, n. 2, p. 609-630, 1980.

RAJCAN, I.; DWYER, L. M.; TOLLENAAR, M. Note on relationship between leaf soluble carbohydrate and chlorophyll concentrations in maize during leaf senescence. **Field Crops Research**, Wageningen, v. 63, n. 1, p. 13-17, 1999. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/S0378-4290\(99\)00023-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-4290(99)00023-4)>.

RIBEIRO, M. C. C.; MORAIS, M. J. A. DE; SOUSA, A. H.; LINHARES, P. C. F.; BARROS JUNIOR, A. P. Produção de mudas de maracujá-amarelo com diferentes substratos e recipientes. **Caatinga**, Mossoró, v. 18, n. 3, p.155-158, 2005. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542010000300009>>.

ROMERA, F. J.; ALCANTARA, E.; DE LA GUARDIA, M. D. Ethylene production by Fe-deficient roots and its involvement in the regulation of Fe-deficiency stress responses by strategy I plants. **Annals of Botany**, Oxford, v. 83, n. 1, p. 51-55, 1999. Disponível em: <<https://doi.org/10.1006/anbo.1998.0793>>.

ROMERA, F. J.; FREJO, V. M.; ALCÁNTARA, E. Simultaneous Fe-and Cu-deficiency synergically accelerates the induction of several Fe-deficiency stress responses in Strategy I plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, Paris v. 41, n. 9, p. 821-827, 2003. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/S0981-9428\(03\)00117-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0981-9428(03)00117-7)>.

ROMERA, F. J.; LUCENA, C.; ALCÀNTARA, E. Plant hormones influencing iron uptake in plants. **Iron nutrition in plants and rhizospheric microorganisms**. Springer Netherlands, 2006. p. 251-278.

SALVADOR, J. O.; MOREIRA, A.; MURAOKA, T. Efeito da omissão combinada de N, P, K e S nos teores foliares de macronutrientes em mudas de goiabeira. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 56, n. 02, p. 501-507, 1999. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90161999000200033>>.

SANTOS, E. F.; SANTINI, J. M. K.; PAIXÃO, A. P.; JÚNIOR, E. F.; LAVRES, J.; CAMPOS, M.; DOS REIS, A. R. Physiological highlights of manganese toxicity symptoms in soybean plants: Mn toxicity responses. **Plant Physiology and Biochemistry**, Paris, v. 113, p. 6-19, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.01.022>>.

SARTORI, R. H.; BOARETTO, A. E.; VILLANUEVA, F. C. A.; FERNANDES, H. M. G. Absorção radicular e foliar de ⁶⁵Zn e sua redistribuição em laranjeiras. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 30, n. 2, p. 523-527, 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452008000200044>>.

SAS Institute. Software SAS version 8, Nashville Enabled. SAS Institute Inc, Cary, North Carolina, USA. 2000.

SCHMIDT, S. B.; JENSEN, P. E.; HUSTED, S. Manganese deficiency in plants: the impact on photosystem II. **Trends in plant science**, Cambridge, v. 21, n. 7, p. 622-632, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.tplants.2016.03.001>>.

SCHOLZ, G.; BECKER, R.; PICH, A.; STEPHAN, U. W. Nicotianamine-a common constituent of strategies I and II of iron acquisition by plants: A review. **Journal of Plant Nutrition**, Davis, v. 15, n. 10, p. 1647-1665, 1992. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/01904169209364428>>.

SEREGIN, I. V.; KOZHEVNIKOVA, A. D. Physiological role of nickel and its toxic effects on higher plants. **Russian Journal of Plant Physiology**, Moscow, v. 53, n. 2, p. 257-277, 2006. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1134/S1021443706020178>>.

SHAHID, M.; DUMAT, C.; KHALID, S.; SCHRECK, E.; XIONG, T.; NIAZI, N. K. Foliar heavy metal uptake, toxicity and detoxification in plants: A comparison of foliar and root metal uptake. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v. 325, p. 36-58, 2016. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.11.063>>.

SHIKANAI, T.; MÜLLER-MOULÉ, P.; MUNEKAGE, Y.; NIYOGI, K. K.; PILON, M. PAA1, a P-type ATPase of Arabidopsis, functions in copper transport in chloroplasts. **The Plant Cell**, New York, v. 15, n. 6, p. 1333-1346, 2003. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1105/tpc.011817>>.

SIEBENEICHLER, S. C., MONNERAT, P. H., CARVALHO, A. D., SILVA, J. D., MARTINS, A. O. Mobilidade do boro em plantas de abacaxi. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 27, no 2, 2005. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452005000200026>>.

SILVA, R. P Da.; PEIXOTO, J. R.; JUNQUEIRA, N. T. V. Influência de diversos substratos no desenvolvimento de mudas de maracujazeiro azedo (*Passiflora edulis Sims f. flavicarpa DEG*). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 23, n. 2, p. 377-381, 2001. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452001000200036>>.

SILVA, A. P. P da. Desenvolvimento de mudas de maracujazeiro amarelo e tubetes. 2006.

SILVA, D. H.; ROSSI, M. L.; BOARETTO, A. E.; NOGUEIRA, N. L.; MURAOKA, T. Boron affects the growth and ultrastructure of castor bean plants. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 65, n. 6, p. 659-664, 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162008000600014>>.

SORREANO, M. C. M. **Avaliação da exigência nutricional na fase inicial do crescimento de espécies florestais nativas**. 2006. 78f. Tese (Doutorado Solos e nutrição de plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2006.

SORREANO, M. C. M.; MALAVOLTA, E.; SILVA, D. H. D.; CABRAL, C. P.; RODRIGUES, R. R. Deficiência de micronutrientes em mudas de sangra d'água (*Croton urucurana*, Baill.). **Cerne**, Lavras, v. 17, p. 3, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0104-77602011000300008>>.

SPERLICH, D.; BARBETA, A.; OGAYA, R.; SABATÉ, S.; PEÑUELAS, J. Balance between carbon gain and loss under long-term drought: impacts on foliar respiration and photosynthesis in *Quercus ilex* L. **Journal of experimental botany**, Oxford, p. 492, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1093/jxb/erv492>>.

SYAM, N.; WARDIYATI, T.; MAGHFOER, M. D.; HANDAYANTO, E.; IBRAHIM, B.; Muchdar, A. Effect of Accumulator Plants on Growth and Nickel Accumulation of Soybean on Metal-contaminated Soil. **Agriculture and Agricultural Science Procedia**, Chiang Mai, v. 9, p. 13-19, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.aaspro.2016.02.109>>.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia do estresse: **Fisiologia vegetal**, Fisiologia do estresse: Fisiologia vegetal. Sunderland: Universitat Jaume, 2004. p. 738-772.

VANDERPLANK, J. **Passion flower**. Cambridge Press: MIT, 1996. 224 p.

WANG, N.; WEI, Q.; YAN, T.; PAN, Z.; LIU, Y. Improving the boron uptake of boron-deficient navel orange plants under low boron conditions by inarching boron-efficient rootstock. **Scientia Horticulturae**, Kentucky, v. 199, p. 49-55, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2015.12.014>>.

WARINGTON, K. The effect of boric acid and borax on the broad bean and certain other plants. **Annals of Botany**, Oxford, v. 37, n. 148, p. 629-672, 1923.

WORTMAN, S. E. Crop physiological response to nutrient solution electrical conductivity and pH in an ebb-and-flow hydroponic system. **Scientia Horticulturae**, Kentucky v. 194, p. 34-42, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2015.07.045>>.

WU, S. Effect of manganese excess on the soybean plant cultivated under various growth conditions. **Journal of plant nutrition**, Davis, v. 17, n. 6, p. 991-1003, 1994. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/01904169409364783>>.

YANG, L. T.; QI, Y. P.; LU, Y. B.; GUO, P.; SANG, W.; FENG, H.; CHEN, L. S. iTRAQ protein profile analysis of *Citrus sinensis* roots in response to long-term boron-deficiency. **Journal of proteomics**, Amsterdam, v. 93, p. 179-206, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jprot.2013.04.025>>.

YRUELA, I. Copper in plants: acquisition, transport and interactions. **Functional Plant Biology**, Melbourne, v. 36, n. 5, p. 409-430, 2009.

ZHANG, F. J.; ZHANG, K. K.; DU, C. Z.; LI, J.; XING, Y. X.; YANG, L. T.; LI, Y. R. Effect of Drought Stress on Anatomical Structure and Chloroplast Ultrastructure in Leaves of Sugarcane. **Sugar Tech**, Berlin, v. 17, n. 1, p. 41-48, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi:10.1007/s12355-014-0337-y>>.