



unesp

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Botucatu



DESENVOLVIMENTO DE PLANTAS JOVENS DE *Annona emarginata* (SCHLTDL.) H. RAINER (ARATICUM-DE-TERRA-FRIA) CULTIVADAS EM SOLUÇÃO NUTRITIVA.

DANIEL BARON

Dissertação apresentada ao Instituto de Biociências, Câmpus de Botucatu, UNESP, para obtenção do título de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas (Botânica), Área de concentração Fisiologia Vegetal

BOTUCATU-SP
-2010-



unesp

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Campus de Botucatu



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“Júlio de Mesquita Filho”

INSTITUTO DE BIOCIÊNCIAS

DESENVOLVIMENTO DE PLANTAS JOVENS DE *Annona emarginata* (SCHLTDL.) H. RAINER (ARATICUM-DE-TERRA-FRIA) CULTIVADAS EM SOLUÇÃO NUTRITIVA.

DANIEL BARON

PROF^a DR^a GISELA FERREIRA

ORIENTADORA

PROF^a DR^a CARMEN SÍLVIA FERNANDES BOARO

CO-ORIENTADORA

Dissertação apresentada ao Instituto de Biociências, Câmpus de Botucatu, UNESP, para obtenção do título de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas (Botânica), Área de concentração Fisiologia Vegetal

BOTUCATU-SP
-2010-

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉC. AQUIS. E TRAT. DA INFORMAÇÃO
DIVISÃO TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - CAMPUS DE BOTUCATU - UNESP
BIBLIOTECÁRIA RESPONSÁVEL: **ROSEMEIRE APARECIDA VICENTE**

Baron, Daniel.

Desenvolvimento de plantas jovens de *Annona emarginata* (SCHLTDL.)
H. Rainer (Araticum-de-terra-fria) cultivadas em solução nutritiva / Daniel
Baron. – Botucatu, 2010.

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de
Biociências de Botucatu, 2010.

Orientadora: Gisela Ferreira

Co-orientadora: Carmen Sílvia Fernandes Boaro

Assunto CAPES: 20303009

1. Fisiologia vegetal. 2. Anonácea. 3. Plantas - Nutrição. 3. Análise foliar.

Palavras-chave: Análise de crescimento; Análise foliar; Annonaceae; Trocas
Gasosas.

“Sábio não é aquele que proclama palavras de sabedoria,
mas sim aquele que demonstra sabedoria em seus atos.”

São Gregório

“O maior inimigo do conhecimento não é a ignorância,
mas a ilusão de que conhecemos algo.”

Stephen Hawking

(físico)

DEDICO,

*À minha amada mãe, **Aparecida Terêsa C. Baron,**
minha âncora, que com sua fé fez e faz com
que me torne uma pessoa cada vez melhor*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a **DEUS** por ter me dado a vida, saúde, garra, sabedoria e força interior para superar as dificuldades, mostrar o caminho nas horas incertas e me suprir em todas as necessidades.

À **Universidade Estadual Paulista**, em especial ao corpo docente do Instituto de Biociências (IB), Departamento de Botânica, pela oportunidade de realizar este curso.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal do Ensino Superior (CAPES), pelo auxílio financeiro concedido

Às minhas orientadoras, prof^{as}. **Gisela Ferreira** e **Carmen Sílvia Fernandes Boaro**, pela amizade, por acreditarem em mim e me mostrarem o caminho da ciência.

Aos professores **João Domingos Rodrigues** (“Mingo”) e **Elisabeth Orika Ono** (“Beth”) pela amizade, pelos ensinamentos e por serem prestativos sempre que precisei.

À professora **Marta Maria Mischan** pela incondicional e indispensável ajuda, além da enorme paciência neste trabalho.

À professora **Conceição Aparecida Cossa** (“Con”) pela amizade e por iniciar esta conquista junto comigo.

Agradeço a minha amada mãe, **Aparecida Terêsa C. Baron**, que além de me trazer ao mundo, me deu e me dá muito amor, atenção, exemplos de perseverança, honra e respeito a todos, ao longo de toda a minha vida. Devo a ela tudo o que sou.

Ao meu avô “nôno” **José Baron** (*in memorian*) e aos meus tios **Antonio Benedito Baron** e **Jair Baron** a quem devo muito e me espelho como exemplo.

Aos patriarcas da minha “segunda família” **Oêmia Maria Bazeloto Bellotto** (“Mema”) (*in memorian*) e **Laércio Bellotto** (“Bába”) por toda a dedicação, amor, carinho, compreensão, preocupação, respeito e companheirismo ao longo de todos esses anos.

Ao **Wilson** (“Tio Wilson”) e **Nereida** (“Táta”) e seus filhos **Thomás** (“Thô”) e **Thiago** (“Thí”) por todo amor, carinho, preocupação e atenção em todos os momentos.

Ao **Laércio Bellotto Filho** (“Tuto”) e **Adriana** (“Dri”) e seus filhos **Luís Gustavo** (“Gú”) e **João Guilherme** (“Guí”) por todo carinho, amor e por sempre confiarem no meu esforço.

À minha querida namorada, **Renata Camargo Bueno** (“Rê”), fundamental ao longo desta jornada, proporcionando-me amor, companheirismo e respeito em todas as ocasiões.

À amiga **Maria Lúcia** e familiares, pelas sábias palavras de incentivo, que me confortaram nas ocasiões mais difíceis desta conquista.

Aos amigos **Gilmar**, **Maria Helena** (“Lêna”) e filhos, que mesmo à distância sempre me acompanharam nesta jornada com suas orações e palavras de determinação.

Ao meu primo e amigo **Rafael** (“Rafa”) pelo companheirismo, momentos de descontração e sincera amizade ao longo dos anos.

Aos amigos **Aparecida** (“Dona Cidinha”), **José** (“Seu Zé”) e **Clarice** pelo carinho, amizade sincera e palavras de incentivo.

A amiga **Maria Ceni** (“Ceni”), pela amizade de longa data e momentos de descontração.

Ao **Gilson Pasquini** (“Bigode”), **Ana Sueli Pasquini** (“Dona Ana”) e seus filhos, **Gibson e França**, por me abrirem as portas de seu lar durante minha graduação, além do agradável convívio e sincera amizade.

Ao amigo **Gustavo Kuhn**, pela amizade sincera desde o tempo de cursinho, além do bom papo, bom humor e agradáveis momentos nas viagens para casa.

Ao meu grande amigo **Gustavo Momberg** (“Momba”), ex-companheiro de pensionato, pela amizade, companheirismo e por toda ajuda.

Aos meus amigos **Ricardo** (“Gordo”), **Sérgio** (“Coy”), **Marcos** (“Marcão”) e **Leandro** (“Cenora”) que mesmo distantes fisicamente sempre torceram por mim.

À **Maria Rosa Baron Daubiam** (“Rosa”) minha prima especial que sempre me deu exemplo de força, ajuda e garra.

À **Maria do Carmo Ambrogi de Camargo** (“Du carmo”) pelo carinho, amizade e orações ao longo desta conquista

À **Juliana de Fazio** (“Jú”) e **Lidiane R. Nagoshi** (“Lidi”) pela amizade, bons conselhos e auxílio em tudo o que precisei.

Ao **Antonio Leite** (“Seu Antonio”) pela agradável e tranquila moradia, além da boa e indispensável amizade.

Ao meu amigo **Leonardo Ferreira** (“Léo”) pela sua fé, garra, orações e sempre uma palavra amiga e positiva ao longo desta jornada.

Ao funcionário **José Eduardo** (“Zé Du”) pelos momentos de descontração e pela ajuda em tudo o que precisei, sempre prestativo e amigo.

Aos funcionários **Adriana, José Auro, Luciene, Inara e Maria Helena** que sempre colaboraram com muita dedicação e carinho.

Ao amigo **Heroy**, pelo convívio e ajuda, sempre com muita dedicação.

Às “meninas da fotossíntese” **Amanda e Ana Cláudia** (“Pônei”), pela amizade e por todo o auxílio prestado.

Aos colegas de pós-graduação **Gláucia, Paula Sibio, Débora, Carol, Lígia, Clívia, Letícia, Valdir, Douglas, Jeferson, Márcio, Eduardo, Talita, Mariana, Juliana Iassia, Jennifer, João Paulo e Jaqueline**.

A todos que de maneira direta ou indireta estiveram presentes no meu mestrado, sempre lembrarei com amor e carinho.

SUMÁRIO

RESUMO.....	01
ABSTRACT	02
1. INTRODUÇÃO	03
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	05
2.1. FAMÍLIA ANNONACEAE.....	05
2.2. ARATICUM-DE-TERRA-FRIA: GÊNERO E ESPÉCIE	09
2.3. CULTIVO HIDROPÔNICO E SOLUÇÃO NUTRITIVA.....	12
2.4. TROCAS GASOSAS FOLIARES	14
2.5. NUTRIÇÃO MINERAL	16
2.6. ANÁLISE DE CRESCIMENTO.....	30
2.7. ANÁLISE FOLIAR.....	31
3. Capítulo I. TROCAS GASOSAS, ÍNDICES FISIOLÓGICOS E ACÚMULO IÔNICO EM PLANTAS JOVENS DE <i>Annona emarginata</i> (SCHLTDL.) H. RAINER EM FUNÇÃO DE VARIAÇÕES DA FORÇA-IÔNICA AO LONGO DO TEMPO.....	33
4. Capítulo II. EFEITO DA FORÇA-IÔNICA DA SOLUÇÃO NUTRITIVA NO DESENVOLVIMENTO, NAS TROCAS GASOSAS E NO ACÚMULO IÔNICO DE PLANTAS JOVENS DE <i>Annona emarginata</i> (SCHLTDL.) H. RAINER EM CULTIVO HIDROPÔNICA	55
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	76
6. CONCLUSÕES.....	77
7. REFERÊNCIAS.....	78

BARON, D. **DESENVOLVIMENTO DE PLANTAS JOVENS DE *Annona emarginata* (SCHLTDL) H. RAINER. (ARATICUM-DE-TERRA-FRIA) CULTIVADAS EM SOLUÇÃO NUTRITIVA.** 2010. 103P. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Biociências, UNESP – Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

RESUMO – O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito de variações da força-iônica (FI) da solução nutritiva completa nº2 de Hoagland & Arnon (1950) em respostas fisiológicas que resultem em maior desenvolvimento inicial de plantas jovens de araticum-de-terra-fria. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com 4 tratamentos constituídos por diferentes forças-iônicas da solução nutritiva (25%FI, 50%FI, 75%FI e 100%FI), 5 repetições de 1 planta e oito coletas, totalizando 160 plantas. Foram realizadas avaliações não destrutivas aos 28, 56, 84, 112, 140 e 224 dias após o transplântio (DAT), onde foi mensurado nº de folhas, diâmetro do caule, altura, massa de matéria seca de folha, caule, raiz e total, além do cálculo dos índices fisiológicos razão de área foliar (RAF), área foliar específica (AFE), taxa de crescimento relativo (TCR), taxa de assimilação líquida (TAL) e razão de massa foliar (RMF). Aos 63, 98, 126 e 224 DAT foram mensuradas as trocas gasosas com o auxílio de um sistema aberto portátil de fotossíntese (LI-6400, LI-COR, Lincoln, NE, USA). Aos 28, 56, 112, 140 e 224 DAT foram realizadas as análises foliares dos macronutrientes essenciais. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($P \leq 0.05$), utilizando o programa SAS (SAS institution, Cary, NC.). De maneira geral, quando utilizada 25%FI obteve-se reduções das variáveis das trocas gasosas, menor acúmulo iônico na massa de matéria seca total, resultando em menores taxas de desenvolvimento ao contrário do observado com 50%FI e 75%FI que promoveram os maiores valores. No entanto, 100%FI não resultou em respostas satisfatórias. Concluímos que o araticum-de-terra-fria responde satisfatoriamente à redução da força-iônica na solução nutritiva, em que 50% e 75% são as forças-iônicas responsáveis pela maior expressão do potencial fisiológico da espécie em sua fase inicial do desenvolvimento.

Palavras-chave: Annonaceae; trocas gasosas; análise de crescimento; análise foliar.

BARON, D. **DEVELOPMENT OF *Annona emarginata* (SCHLTDL.) H. Rainer (“ARATICUM-DE-TERRA-FRIA”) SEEDLINGS GROWN IN NUTRIENT SOLUTION.** 2010. 100P. Dissertation (Master’s Degree) – Institute of Biosciences, UNESP – São Paulo State University, Botucatu Campus, São Paulo State, Brazil

ABSTRACT – The aim of this study was to evaluate the effect of variations in the ionic strength (*I*) of complete nutrient solution no. 2 of Hoagland & Arnon (1950) on physiological responses that result in higher initial development of “araticum-de-terra-fria” seedlings. Experimental design was in randomized blocks, with 4 treatments consisting of different ionic strengths of the nutrient solution (25, 50, 75 and 100% *I*), 5 replicates of 1 plant each and eight harvests, totaling 160 plants. Nondestructive evaluations were performed at 28, 56, 84, 112, 140 and 224 days after transplanting (DAT), when leaf number, stem diameter, height, and leaf, stem, root and total dry matter for growth analysis were measured. At 63, 98, 126 and 224 DAT, gas exchange was evaluated through a closed portable photosynthesis system (LI-6400, LI-COR, Lincoln, NE, USA). At 28, 56, 112, 140 and 224 DAT, leaf essential macronutrients were quantified. The results were subjected to analysis of variance and means compared by Tukey’s test at 5% significance ($P < 0.05$) by using SAS software (SAS Institute Inc., Cary, NC). In general, 25% *I* led to decreased gas exchange and ionic accumulation in total dry matter, resulting in lower development rates, whereas 50 and 75% *I* led to the highest values. However, 100% *I* did not provide satisfactory responses. Thus, “araticum-de-terra-fria” satisfactorily responded to the ionic strength reduction in the nutrient solution, in which 50 and 75% *I* are responsible for leading this species to the highest physiological potential expression at its initial development stage.

Keywords: Annonaceae; gas exchange; growth analysis; leaf analysis.

1. INTRODUÇÃO

As anonáceas englobam um grupo de frutíferas de importância econômica em algumas regiões do mundo (CHATROU, 1999; PINTO et al., 2005). Em regiões tropicais a espécie mais cultivada é a *Annona squamosa* L., popularmente conhecida como fruta-do-conde ou pinha e a *Annona muricata* L., conhecida com graviola (Kavati, 1992; Encina et al., 1999) e nas regiões subtropicais destaca-se o cultivo cherimólia (*Annona cherimola* Mill.) e o híbrido atemóia (*A. cherimola* x *A. squamosa*) e são estas quatro espécies com maior importância econômica (MOSCA et al., 2006; SCUC, 2006).

No Brasil, a produção de frutas da família Annonaceae vem aumentando a cada ano, principalmente com relação ao cultivo de atemóia (*Annona cherimola* Mill. X *Annona squamosa* L.), da fruta-do-conde (*Annona squamosa* L) e da graviola (*Annona muricata* L.) (DONADIO, 1997; JUNQUEIRA et al, 2003; SÃO JOSÉ, 2003; SCALOPPI JÚNIOR & MARTINS, 2003; STENZEL et al., 2003; RIBEIRO et al., 2004; PINTO et al., 2005; SCUC, 2006; SCALOPPI JÚNIOR, 2007). Embora se destaquem importantes regiões com anonáceas no país, a reduzida existência de levantamentos sistemáticos de produção, por parte de órgãos oficiais, dificulta uma análise mais atualizada e específica a respeito da evolução, comercialização e participação dessas frutas no agronegócio brasileiro (SÃO JOSÉ, 1997; MELLO et al., 2003).

De modo geral, as anonáceas são muito susceptíveis a diversas doenças de raízes e solo como *Phytophthora nicotianae*, *Pythium* sp., *Rhizoctonia solani* e o uso de plantas da espécie araticum-de-terra-fria (*Annona emarginata* (SCHLTDL.) H Rainer. tem se mostrado como boa alternativa na produção de portaenxerto devido à compatibilidade e resistência em relação às doenças citadas anteriormente (BONAVENTURE, 1999; TOKUNAGA, 2005; SCALOPPI JÚNIOR, 2007).

Para evitar problemas com segregação e incompatibilidade entre enxerto e portaenxerto, uma alternativa é o emprego do araticum-de-terra-fria, pois induz maior vigor à copa (Kavati, 1998; Tokunaga, 2005) e tem demonstrado boa compatibilidade, resistência a fungos presentes no solo tais como *Phytophthora nicotianae*, *Pythium* sp., *Rhizoctonia solani* e por ser menos atrativos às brocas (*Cratosomus bombina*) que atacam o colo das plantas (BETTIOL NETO et al., 2006).

Para que sejam analisados os efeitos dos elementos minerais no desenvolvimento vegetal, começou-se a trabalhar com soluções nutritivas arejadas, sendo a primeira solução nutritiva para cultivo de plantas proposta por Hoagland & Arnon (Furlani et al., 1999) contendo os macro e micronutrientes necessários ao crescimento vegetal, pois permite melhor controle das proporções dos diversos nutrientes (MALAVOLTA, 1980; FRANCO & PRADO, 2006).

O entendimento dos aspectos agronômicos e fisiológicos no desenvolvimento de um determinado vegetal é indispensável para aperfeiçoamento de técnicas corretas, visando condições mais

propícias para que os mecanismos fisiológicos ocorram com máxima eficiência (HABERMANN, 1999; MACHADO et al., 2005). Entre esses aspectos, um em particular é a fotossíntese, processo principal, senão o único, de fornecimento de carbono para o crescimento e desenvolvimento das plantas (DORNHOFF & SHIBLES, 1970).

A produtividade vegetal pode ser avaliada por meio de análise de crescimento, técnica que independente das dificuldades inerentes ao conhecimento sobre a complexidade que envolve o crescimento das plantas, ainda é a mais acessível e precisa para avaliá-lo e inferir a contribuição de diferentes processos fisiológicos sobre o comportamento vegetal (MAGALHÃES, 1986; BENINCASA, 2003).

Para a nutrição adequada das plantas, além da quantidade e da relação entre nutrientes, é preciso conhecer os padrões normais de acúmulo de elementos na massa seca e dos nutrientes ao longo do tempo de cultivo (MARSCHNER, 1995; MENGEL & KIRKBY, 2001; EPSTEIN & BLOOM, 2006). Além do que, o conhecimento do acúmulo de nutrientes nas diferentes fases de desenvolvimento da planta é importante, porque permite determinar em qual período de cultivo os elementos são mais exigidos, além de fornecer informações de grande importância para determinação ou composição de substrato e um plano de manejo de adubação (MARTINEZ, 2002; BARBOSA et al., 2003; FRANCO & PRADO, 2006; FRANCO et al., 2008; FRANCO & PRADO, 2008).

Com base no exposto, o presente estudo teve como objetivo avaliar o desenvolvimento vegetativo, análise de crescimento, trocas gasosas e concentração iônica foliar em plantas jovens de *Annona emarginata* (SCHLTDL.) H. Rainer (araticum-de-terra-fria) cultivadas em diferentes forças iônicas da solução nutritiva completa nº2 de Hoagland & Arnon (1950).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. FAMÍLIA ANNONACEAE

A família Annonaceae pertence ao grupo das plantas Eudicotiledôneas, clado das magnoliídeas. Este clado é constituído por quatro ordens, Canallales, Laurales, Magneliales e Piperales, sendo a ordem Magneliales representada pelas famílias Magnoliaceae, Myristicaceae e Annonaceae (SOUZA & LORENZI, 2008).

Como característica marcante utilizada para identificar as espécies desta família destaca-se o odor forte proveniente do corte de troncos e ramos, presença de fibras longas e resistentes na casca do caule, conhecida popularmente como Envira, as folhas são dísticas (exceto em *Tetrameranthus*, que apresenta folhas espiraladas), alternas, simples e sem estípulas (JOLY, 2002).

Espécies pertencentes à família Annonaceae, de maneira geral, são de hábito arbóreo, raramente arbustos, subarbustos ou lianas; folhas alternas, dísticas, simples, sem estípulas, margem inteira. Inflorescência cimosas, às vezes reduzida a uma única flor; flores usualmente grandes e vistosas, em geral bissexuadas, diclamídeas; cálice trímero-tetrâmero, dialissépalo; corola formada por dois verticilos de três (-4) pétalas. Fruto apocárpico ou sincárpico, babáceo ou menos frequentemente folicular (*Anaxagorea*, *Xylopia*) (DIAS, 1988; LOBÃO et al., 2005; LORENZI & SOUZA, 2008).

Existem variações importantes entre pés-francos de anonáceas dentro de uma mesma espécie, afetando não apenas a folhagem madura e produção das plantas, mas também o tamanho, forma, coloração, qualidade e número de sementes nos frutos. Essas variações são frequentemente pronunciadas, suficiente para resultar em inúmeros nomes botânicos para a mesma espécie (PINTO et al, 2005).

A família Annonaceae é importante tanto evolutiva, ecológica como economicamente, com aproximadamente 135 gêneros e cerca de 2500 espécies (Chatrou, 1999; Maas et al., 2001; Chatrou et al., 2004) e em número de espécies, Annonaceae é de longe a mais sobressalente dentro da ordem das Magnoliales, as quais se encontram entre as angiospermas mais primitivas (SCALOPPI JÚNIOR, 2007). O número de gêneros e espécies da família não está totalmente definido, pois devido o avanço em estudos biomoleculares de filogenia o número de espécie se altera rapidamente, já que há novidades quase todas as semanas (SOUZA & LORENZI, 2008).

A maioria das espécies de Annonaceae está quase que totalmente limitada aos trópicos, onde crescem em baixas altitudes, cerca de 900 espécies se encontram entre os Neotrópicos, 1200 nas áreas tropicais da Ásia e Austrália, mas o maior número de gêneros ocorre nas Américas (aproximadamente 40 gêneros), com predominância na América do Sul (aproximadamente 35 gêneros) e a África é o continente que contém o mais baixo número de espécies, aproximadamente 450 (CHATROU, 1999;

MOHD KHALID, 2002; MANICA et al., 2003; PINTO, 2005; TOKUNAGA, 2005). Vários gêneros se encontram na África e também Ásia, tal o caso de *Uvaria* e *Polyalthia*, ambos com mais de 100 espécies, *Xylopia* é o único gênero da família que se encontra nas regiões tropicais de todos os continentes, enquanto que *Anaxagorea* é o único gênero encontrado nos neotropicos e na Ásia tropical (CHATROU, 1999).

O grande centro de distribuição da família é, sem dúvida, a região amazônica, as Guianas e o sudeste do Brasil, habitando florestas de terra firme, as várzeas, os cerrados e os campos (MIRALHA, 1995; LOBÃO et al., 2005). De acordo com estudos feitos por Mass et al. (2001) na região centro-leste do Brasil, verificou-se um total de dezenove gêneros e 153 espécies pertencentes a família Annonaceae, compreendendo o Distrito Federal e os Estados da Bahia, Espírito Santo, Goiás, Minas Gerais, Rio de Janeiro, São Paulo e Tocantins.

O gênero *Rollinia* e *Annona* possuem as espécies anonáceas mais importantes comercialmente (Pinto et al, 2005), sendo as espécies pertencentes ao gênero *Rollinia* as que apresentam grande perspectiva de uso como porta-enxerto para outras anonáceas e o gênero *Annona* agrupa as espécies mais cultivadas, separadas em 5 grupos: “Guanabani” - grupo das graviolas; “Bilae-florae” – anonas com ceras; “Acutiflorae” – pétalas afiladas; “Annonellae” – anonas anãs e as “Attae” – anonas comuns, sendo este o grupo com mais espécies cultivadas e conhecidas (Kavati, 1992), entretanto a maioria das espécies dessa família é considerada subutilizada e informações sobre ela, de certa forma, é escassa e amplamente dispersa (PINTO, 2005).

Um número limitado de espécies anonáceas produz frutos comestíveis, incluindo muitas coleções de espécies selvagens e algumas que vêm sendo domesticadas (Ochse et al., 1974), embora alguns desses frutos apresentem como característica o sabor adocicado pronunciado e perfume bem característico, sendo seu uso voltado para o consumo in natura ou na forma de polpas processadas pela indústria (Takahashi, 2008) com destaque para a espécie cherimóia (*Annona cherimola* Mill) considerada uma das três frutas mais saborosas do mundo, junto com o mangustão e o abacaxi (DONADIO et al., 1998).

Os frutos do gênero *Annona* são utilizados na indústria, com destaque para a gravioleira, pois suas sementes são produtoras de óleos essenciais (ésteres e ácidos alifáticos) (SCALOPPI JÚNIOR, 2007). Outras espécies de menor interesse como a condessa (*Annona reticulata*), o beribá (*Rollinia mucosa*) e demais espécies pertencentes à família *Annonaceae* são cultivadas de forma espontânea ou ainda como portaenxertos para outras anonáceas (SÃO JOSÉ, 1997).

Para o consumo “in natura” (polpa) cultivava-se principalmente a fruta-do-conde ou pinha (*Annona squamosa* Mill.) e a atemóia (*Annona cherimola* Mill. x *Annona squamosa* L.) empregados na alimentação humana, pois são ricos em carboidratos, agindo como excelentes fontes de energia,

importantes fontes de sais minerais como cálcio, fósforo, potássio e grande importância em diversas funções biológicas, tais como ajuda a proteger os ossos, dentes e musculatura mais firme (PINTO et al., 2005; SCUC, 2006).

Diversos gêneros da família das anonáceas são conhecidos, inclusive no Brasil, por apresentarem espécies popularmente usadas como plantas medicinais e pelos frutos comestíveis, muito apreciados principalmente pelas populações rurais (LORENZI, 1998; JOHNSON et al., 2000; PIMENTA et al., 2003). Até hoje já foram isolados perto de 400 compostos dessa família, considerados entre os mais potentes conhecidos inibidores do complexo I (NADH: ubiquinona oxireductase), nos sistemas de transporte de elétrons da mitocôndria e da NADH: oxidase da membrana plasmática, que induzem apoptose (morte programada da célula) (MAIRESSE, 2005).

As anonáceas pertencem a um grupo de produtos com uma realidade de consumo crescente, porém com oferta interna insuficiente, uma vez que a produção nacional ainda não se apresenta consolidada (MELLO et al. 2003). A maioria das espécies dessa família é considerada subutilizada e a informação sobre elas é escassa e amplamente dispersa, todavia, as áreas sob produção têm crescido mais rapidamente do que a contribuição da ciência e tecnologia (PINTO et al, 2005). Essa preocupação levou à formação, em 2003, da Associação Brasileira dos Produtores de Anonáceas (Anonas Brasil), cuja finalidade maior é orientar os fruticultores atuais e potenciais para a conquista do mercado com qualidade. A organização desse setor também depende da sistematização de informações técnicas e de mercado. Nesse sentido, a Secretaria de Agricultura e Abastecimento, por meio do Instituto de Economia Agrícola – IEA - e da Coordenadoria de Assistência Técnica Integral - Cati , tem colaborado no levantamento de dados de produção, área e produtividade.

Até hoje não existe levantamento oficial do plantio de anonáceas no Brasil, o que dificulta uma análise mais atualizada e específica a respeito da evolução, comercialização e participação dessas frutas no agronegócio brasileiro (São José, 1997; Mello et al., 2003), porém para a fruta-do-conde e graviola são disponíveis os dados do Censo Agropecuário de 1996 do IBGE (Nogueira et al., 2005), o que é um descaso na estatística da fruticultura no Brasil (SCALOPPI JÚNIOR, 2007).

A produção nacional de anonáceas concentra-se nas regiões Nordeste e Sudeste, com predomínio na Bahia, seguida de Pernambuco, Rio Grande do Norte e Alagoas, com a pinha e a graviola, e São Paulo e Minas Gerais, com a atemóia (NOGUEIRA et al., 2007). No biênio 2002/03, o IEA / CATI passou a separar as estatísticas sobre a fruta-do-conde e atemóia no item “demais anonáceo” para o estado de São Paulo, devido o crescente interesse comercial em relação a essas duas fruteiras, o que permite concluir que os pomares de fruta do conde concentram-se nas regiões de Jales (54%) e Lins (18%), enquanto que os de atemóia nas regiões sudoeste (50%) e de Botucatu e verificou-

se que em 2004/05 a produção de atemóia cresceu 39% em relação à 2002/03, passando de 455 mil caixas, de 3,7 kg, para 633,1 mil caixas (NOGUEIRA et al., 2007).

As espécies de Annonaceae mais exploradas apresentam em maior ou menor grau, problemas, quando da tentativa de propagação vegetativa, sendo sua propagação sexual de escasso valor agrônomo, devido ao alto grau de heterozigose das espécies, o que se desaconselha sua propagação por sementes (ENCINA et al., 1999). Em relação à forma de propagação, Camargo & Kavati (1996) consideram que a formação de mudas, possibilitando a obtenção de pomares de anonáceas homogêneas, produtivos e com frutos de qualidade elevada, precisa evitar o uso da propagação sexuada em qualquer de suas fases. A baixa germinação em anonáceas, característico das anonáceas, é devido à dormência fisiológica (decorrente de embrião imaturo) e dormência tegumentar (Rizzini, 1973), além de ser lenta e desuniforme devido à concentração de ácido abscísico, presença de embrião imaturo, desenvolvimento lento, impermeabilidade e resistência do tegumento (SMET et al., 1999; COSTA, 2009; CORSATO, 2010).

Apesar do grande interesse pela produção, espécies comerciais como a atemóia, fruta-do-conde e a graviola são suscetíveis às diversas podridões de raiz e colo causadas por *Phytophthora nicotianae*, *Pythium* sp., *Rhizoctonia solani*, além de serem atacadas por coleobrocas, razão pela qual tais espécies exigem a utilização de porta-enxertos resistentes (KAVATI, 1992; VARGAS RAMOS, 1992; KAVATI, 1998; BONAVENTURE, 1999; TOKUNAGA, 2005; BETTIOL NETO et al., 2006; NOGUEIRA, et al. 2007).

Com a necessidade de se obter plantas uniformes e com as características específicas de produção devem-se usar outras formas de multiplicação (BRAGA, 2008). Métodos vegetativos, como estaquia, mergulhia, enxertia (garfagem ou borbullia) e micropropagação podem ser utilizados (MANICA et al., 1997). A forma de propagação mais indicada para a atemóia é a enxertia (STENZEL et al., 2003). Segundo Bezerra & Lederman (1997), diversos estudos têm sido realizados na busca de recomendações de portaenxertos adequados.

A compatibilidade do portaenxerto com a espécie copa é um fator essencial, pois os genótipos heterogêneos resultam em grande variabilidade das plantas originadas de sementes nesta família (SCALOPPI JÚNIOR, 2007). Várias espécies da família Annonaceae podem ser utilizadas como portaenxerto, tais como *Annona glabra* L. (araticum-do-brejo), *Annona squamosa* Mill. (fruta-do-conde) e *Annona muricata* (graviola) (CAMPBELL & PHILLIPS, 1994; FUENTES, 1999). Porém, o araticumzeiro-do-brejo e gravioleira apresentam incompatibilidade como portaenxerto para copa fruteira-do-conde, da mesma maneira que fruteira-do-conde usada como portaenxerto para gravioleira apresenta incompatibilidade (BOURKE, 1985; BEZERRA & LEDERMAN, 1997). Os portaenxertos mais usados para atemóia são as espécies araticum-de-folha-fria, a fruta-do-conde (*Annona squamosa*

L.) e a própria atemóia (KAVATI, 1998). Esta última tem sido utilizada, apesar de apresentar baixa taxa de germinação e ser suscetível a fungos presentes no solo o que restringe a utilização em áreas sadias (STENZEL et al., 2003; KAVATI, 2004).

A influência do portaenxerto nas características da copa, em anonáceas, é bastante notável (SCALOPPI JÚNIOR, 2007). A variabilidade genética dentro de linhas de plantas jovens de portaenxertos e entre as diferentes espécies destes induz ampla variabilidade no desempenho da copa (Page, 1984) e este tipo de interação, genótipo e ambiente, requer muito mais estudos do que os dados disponíveis (SCALOPPI JÚNIOR, 2007). Existe variação considerável entre cultivares de pés-francos de cherimóia, sendo a fruta-do-conde e a graviola conhecidas como menos variáveis (George & Nissen, 1987; Pinto & Silva, 1994), não justificando, porém, o uso da propagação sexuada na instalação em plantios, como é feito por produtores comerciais no Brasil (Pinto & Ramos, 1999), já que as anonáceas são consideradas espécies alógamas (Savazaki, 2000).

2.2. ARATICUM-DE-TERRA-FRIA: GÊNERO E ESPÉCIE

Estudos cariológicos (Morawetz & Hemmer, 1992), palinológicos (Le Thomas et al., 1992), capítulos de livros sobre anatomia de madeira (Ter Welle, 1992), além de numerosas publicações sobre anatomia de sementes (Vand der Heijen & Bouman, 1988) e revisões de literatura (Maas et al., 1992) evidenciam que o gênero *Rollinia* não pode ser mantido separado do gênero *Raimondia* o que por sua vez este já é classificado como sinônimo do gênero *Annona* (RAINER, 2001). Dessa maneira não foram encontrados argumentos satisfatórios para que ficassem divididos entre si os gêneros *Annona* e *Rollinia*, sendo assim estes dois gêneros passaram a ser classificados em um apenas, o gênero *Annona* (RAINER, 2007).

A espécie conhecida no Brasil como araticum-de-terra-firme (Tokunaga, 2005) pode ser conhecida popularmente em outros países como arachichu ou “*fruit of Sky*” (COLOM et al., 2007). De acordo com Joly (2002) o araticum-de-terra-fria pertence ao reino Vegetal; divisão Angiospermae; classe Dicotyledoneae; ordem Magnoliales; família Annonaceae; subfamília Annonoideae; gênero *Rollinia*, espécie *Rollinia* sp. A partir da nova classificação baseada em APG II, a espécie conhecida como araticum-de-terra-fria sofreu alteração quanto a sua classificação taxonômica passando a ser pertencente ao reino vegetal, clado Magnoliídeas, ordem Magnoliales (SOUZA & LORENZI, 2008).

No ano de 2007 foi proposto pelo pesquisador Heimo Rainer em seu trabalho intitulado “Monographic studies in the genus *Annona* L. (Annonaceae): Inclusion of the genus *Rollinia* A. St.-Hil.” a alteração taxonômica da espécie araticum-de-terra-fria, até então pertencente ao gênero *Rollinia* classificada como *Rollinia* sp., passando então a pertencer ao gênero *Annona*, classificada finalmente como *Annona emarginata* (SCHLTDL.) H. Rainer. Embora esteja bem documentada a alteração

taxonômica do gênero na literatura, poucos estudos foram encontrados abordando a espécie após sua nova classificação, portanto a revisão de literatura tanto do gênero, quanto da espécie foram feitas com base na classificação antiga, *Rollinia* sp.

O gênero *Rollinia* foi estabelecido pela primeira vez pelo pesquisador Saint-Hilaire e publicado em 1825 no periódico “Flora Brasiliae meridionalis” como resultado de atividades de coletas no início do século XIX na região sudeste do território brasileiro. O nome “Rollinia” se deve a uma homenagem feita pelo classificador ao historiador francês Charles Rollin (1661-1741). O novo gênero foi distinguido do gênero *Annona* pela característica, única na família, corola simpétala (“monopétala”), uma estrutura em particular com “3 asas” (MAAS et al., 1992). O gênero *Rollinia* foi posteriormente expandido por Schlechtendal (1834), Martius (1841), Triana & Planchon (1862) e Safford (1916) (RAINER et al., 2007). Já o trabalho monográfico de Maas et al. (1992) incluem 42 espécies listadas pertencentes ao gênero, além de duas espécies mencionadas inclusas, mas não formalmente descritas, tornando assim o gênero o quarto maior em número de espécies pertencente a família Annonaceae.

As espécies do gênero *Rollinia* podem apresentar importância na medicina popular como tratamento anti-cancerígeno, anti-reumático, cólicas, diarreia e problemas do aparelho digestivo; ação na agricultura como inseticida natural; ornamental e ecológica (*Rollinia salcifolia*), recuperação ecológica de áreas degradadas (*Rollinia rugulosa* SCHL.) e base da alimentação de inúmero animais pertencentes a nossa fauna (LEBOEUF et al., 1982; REITZ et al., 1983; MAAS et al., 1992; ZENG et al., 1996; ALALI et al., 1999; GLUFKE, 1999; FRANZIN et al., 2004; MAIRESSE, 2005; PINTO et al., 2005).

Das mais de 40 espécies classificadas dentro do gênero *Rollinia*, apenas 9 foram identificadas quimicamente mais intensivamente e a primeira vez que o nome “Rollinia” emergiu em literatura fora da área da botânica foi em 1967 quando Hartwell reportou que *Rollinia mucosa* foi usada em tratamento medicinal primitivo contra tumores, no oeste da Índia e Indonésia, além da identificação de taninos em espécies não identificadas de *Rollinia* (Gibbs, 1974), compostos cianogênicos em *Rollinia emarginata* (Seigler et al., 1979) e fontes de óleos comestíveis em sementes de *Rollinia mucosa* (NGIEFU et al., 1976). A isolação de “acetogeninas anonáceas” de espécies pertencentes ao gênero *Rollinia* foi reportado pela primeira vez por Dabrah & Sneden (1984) e esta descoberta induziu um significativo interesse no gênero *Rollinia* (Maas et al., 1992) devido a ação comprovada destes compostos nos mais diversos tipos de carcinomas humanos (LEBOEUF et al., 1982; ZENG et al., 1996; ALALI et al., 1999; MAIRESSE, 2005).

O araticum-de-terra-fria apresenta hábito arbóreo, de pequeno a médio porte e pode alcançar de 15 a 18m de altura, embora algumas espécies (*Rollinia amazonica* e *Rollinia edulis*) do mesmo gênero possam alcançar 35m e diâmetro com 75 cm. Possui folhas lisas e lanceoladas com brilho na face

adaxial da folha (JOLY, 2002). As flores são em forma de hélice, perfumadas, de coloração creme, com florescimento concentrado no mês de outubro; as folhas apresentam, em média, de 2,5cm de largura na parte mediana e 6cm de comprimento, variando entre as plantas em razão do vigor da planta; período de maturação dos frutos se dá na 2^a quinzena de fevereiro e os frutos possuem em média 4cm de diâmetro, 3cm de altura e cerca de 50g, podendo conter até 43 sementes (TOKUNAGA, 2005).

A espécie é nativa do continente sul-americano, encontrada em países como Bolívia, Peru, Argentina, Paraguai, Uruguai e Brasil (MAAS et al., 2001; USDA, 2009). No Brasil a espécie é encontrada, com ocorrência natural, em locais situados preferencialmente acima de 950m do nível do mar das regiões sul e sudeste. No Estado de São Paulo é encontrada nos municípios de Cunha e Itapeva, localizados sobre a Serra do Mar, além de São Bento do Sapucaí e Campos do Jordão, situados sobre a Serra da Mantiqueira. Na região sul do Estado de Minas Gerais ocorre nos municípios de Sapucaí Mirim, Gonçalves, Brasópolis, Ipuina, Cambuí e Marmelópolis, em áreas próximas dos córregos. Encontra-se a espécie em todas as regiões do estado do Paraná (Maas et al., 1992), Santa Catarina (Lages, Videira, Joaçaba e Ibicaré) e no estado do Rio Grande do Sul (Vacarias) (TOKUNAGA, 2005).

O araticum-de-terra-fria foi utilizado pela primeira vez como portaenxerto de atemóia pelo agricultor Pedro Costa, de São Bento do Sapucaí (SP), que entendeu tratar-se de *Rollinia emarginata*, pois *Rollinia* sp. é conhecida nessa região como araticum-mirim e descobriu-se, dessa forma, um novo e eficiente portaenxerto (SCALOPPI, 2007).

Esta espécie, quando utilizada como portaenxerto para espécies comerciais de anonáceas (ex. atemóia), induz maior vigor à copa (Kavati, 1998; Bonaventure, 1999; Tokunaga, 2005) e tem demonstrado boa compatibilidade, resistência a fungos presentes no solo tais como *Phytophthora nicotianae*, *Pythium* sp., *Rhizoctonia solani* e por ser menos atrativos às brocas (*Cratosomus bombina*) que atacam o colo das plantas (BETTIOL NETO et al., 2006).

Para a verificação de tal evento, é preciso que na suposta espécie compatível seja realizado o enxerto da espécie copa de interesse (no caso o uso da espécie atemóia), além de que bons resultados de cultivo com a utilização de portaenxerto adequado são de suma importância (BEZERRA & LEDERMAN, 1997). Feita a observação entre enxerto e portaenxerto por pelo menos quatro anos e não se observe alto grau de incompatibilidade e problemas fitossanitários durante esse período, a espécie servirá como portaenxerto (TOKUNAGA, 2005). Não foram registrados problemas nas observações realizadas ao longo dos anos no Núcleo de Produção de Mudanças de São Bento do Sapucaí, pertencente à CATI (SCALOPPI, 2007).

A implantação de pomares de frutíferas da família Annonaceae exige cada vez mais a utilização de técnicas nutricionais mais eficientes e específicas para cada espécie, na tentativa de obterem-se melhores resultados de produção e produtividade (BARBOSA et al., 2003; SÃO JOSÉ et al,

2003; STENZEL et al., 2003). Mesmo já sabido que as espécies anonáceas de maior interesse comercial são consideradas culturas estabelecidas, a maioria das informações existentes na literatura nacional e internacional questiona os mais diversos aspectos, sendo escassas informações quando se trata de nutrição mineral, sobretudo pelo fato que estes são um dos fatores básicos para a obtenção de mudas de melhor qualidade (SILVA & SILVA, 1997).

2.3. CULTIVO HIDROPÔNICO E SOLUÇÃO NUTRITIVA

A hidroponia ou hidropônica são termos derivados de dois radicais gregos (hydor, que significa água e ponos, que significa trabalho) e está se desenvolvendo rapidamente como meio de produção vegetal (FURLANI et al., 1999; JONES JÚNIOR, 2000). O termo “hidropônico” surgiu em meados da década de 30 com o pesquisador da Universidade da Califórnia, Dr. Gericke, e desperta crescente interesse no mundo todo, apesar de sua prática ter surgido inicialmente em meados do século XVIII (MARTINEZ, 2002). Trata-se do uso de solução nutritiva na presença ou ausência de substratos naturais ou artificiais que se desenvolveu a partir de experiências laboratoriais que prevê um considerável grau de controle do ambiente em torno da raiz (MARTINS, 2007; FURTADO, 2008).

De acordo com Martinez (2002) os primeiros cientistas a cultivar plantas em meio líquido, de semente a semente, foram os alemães Sachs (1860) e Knop (1861), que utilizaram soluções aquosas contendo nitrogênio (N), fósforo (P), enxofre (S), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) e os micronutrientes foram descobertos posteriormente, pois sua presença ocorria como contaminante.

O cultivo hidropônico é uma técnica não apenas utilizada para investigação hortícola e produção de vegetais; também está sendo empregada como uma ferramenta para resolver um amplo leque de problemas, que incluem redução da contaminação do solo, água subterrânea, e manipulação dos níveis de nutrientes no produto (CASTELLANE & ARAUJO, 1995; MARTINEZ, 1997; SMETHURST et al., 2000; LOPES *et al.*, 2003; HELBEL JUNIOR, 2008). Lucena (1997) complementa que resultados obtidos em sistemas hidropônicos são mais precisos que aqueles obtidos em cultivo no solo, além de representar menor custo em termos de análises químicas. Destacam-se, também, outras motivações em relação à tecnologia de cultivo hidropônico, dentre elas: maior rendimento por área; menor incidência de pragas e doenças; maior facilidade de execução dos tratamentos culturais; melhor programação da produção; ciclos mais curtos, em decorrência de melhor controle ambiental (MARTINEZ & BARBOSA, 1996; FURLANI ET AL., 1999; MARTINEZ, 2002).

É importante salientar que nos estudos de nutrição mineral de plantas, o solo constitui-se num meio altamente complexo e interativo para que sejam analisados os efeitos de um dado nutriente (MALAVOLTA, 1980). Deste modo, para que sejam analisados os efeitos de um dado nutriente sem interferência do solo, emprega-se soluções nutritivas arejadas, sendo a primeira solução proposta por

Hoagland e Arnon em 1950 (Furlani et al., 1999; Epstein & Bloom, 2006) contendo os macro e micronutrientes necessários ao crescimento vegetal (MALAVOLTA, 1980; FRANCO & PRADO, 2006).

Diversas soluções já foram propostas em pesquisas com nutrição mineral de plantas, havendo em alguns casos, diferenças marcantes entre elas em relação aos macronutrientes e dentre todas as solução existente, “Hoagland & Arnon” tem sido a mais usada, na investigação de problemas nutricionais de plantas (FURLANI et al., 1999). Ruiz (1997) relatou que a solução nutritiva completa nº2 de Hoagland & Arnon (1950) super estima todos nutrientes utilizados em sua composição. Segundo Zeiger (2004) as concentrações desses elementos foram estabelecidas no maior nível possível, sem produzir sintomas de toxicidade ou estresse salino e assim, podem ser várias vezes maiores do que as encontradas no solo ao redor das raízes.

Segundo Vasques (2007) não existe uma solução ideal para todas as espécies vegetais, portanto a escolha da solução nutritiva para o cultivo hidropônico é de fundamental importância já que cada espécie vegetal tem uma exigência nutricional diferente (MALAVOLTA, 1980; TEIXEIRA, 1996). Desta forma, o desenvolvimento das plantas envolve a escolha de solução apropriada para o plantio, controle contínuo com adição de sais, controle de p.H., substituição periódica de toda a solução, idade da planta, época do ano e fatores ambientais (SARRUGE, 1975; ALONSO FILHO et al., 1998).

A composição da solução deve variar com o crescimento da planta, sendo a amplitude de variação dependente da relação entre seu crescimento e o volume de solução empregado (FAZIO, 2007). A variação induzida pelo crescimento causa decréscimo nas quantidades de sais disponíveis para as raízes, além de levar a alteração qualitativa, uma vez que, nem todos os elementos são absorvidos nas mesmas proporções (MARTINEZ, 2002). Mesmo com a existência de composições nutritivas bem sucedidas, há pouca probabilidade de que qualquer combinação particular de concentrações e proporções de sais se prove decididamente superior a qualquer outra, embora esse objetivo seja uma busca consagrada ao longo do tempo (SARRUGE, 1975; DE RIJCK & SCHREVEN, 1999).

Três macronutrientes devem estar presentes na forma de cátions em soluções nutritivas: potássio, cálcio e magnésio. Dois ânions macronutrientes devem estar presentes: fosfato e sulfato. Soluções nutritivas fornecem nitrogênio como cátion amônio, como cátion nitrato, ou ambos, mas nitrato é a principal fonte na maioria. Conseqüentemente, três sais – nitrato de potássio, fosfato de cálcio e sulfato de magnésio- podem fornecer todos os macronutrientes requeridos, mas é preferível ter quatro sais porque isso propicia maior flexibilidade para variar as concentrações e proporções de íons (MARSCHNER, 1995; TAIZ & ZEIGER, 2009).

Em adição, a solução nutritiva deve fornecer os nutrientes a níveis baixos, mas adequados, pois as plantas não necessitam de altas concentrações de nutrientes, tal qual é encontrado em formulações

usuais das soluções nutritivas, além de que o p.H. deve estar dentro de uma faixa apropriada (EPSTEIN & BLOOM, 2006). A taxa de suprimento de nutrientes, na sua concentração, é o fator importante. A razão para a alta concentração de nutrientes nas formulações-padrão recai na dificuldade experimental de reabastecimento de nutrientes a partir de um depósito, à medida que as plantas os exaurem: é mais fácil para os pesquisadores substituírem uma solução nutritiva semanalmente do que em hora em hora (INGESTAD, 1982).

Existem muitos trabalhos na literatura com a utilização da solução nutritiva proposta por Hoagland and Arnon (1950) em diversos tipos de frutíferas, em sistema hidropônico, entre elas o pêssigo (Shi et al. 1993), marmelo (Viti & Cinelli 1993), manga (Coetzer et al. 1994), figo (Teragishi et al. 2000, Kilinc et al. 2007), kiwi (Sotiropoulos et al. 2003), umbuzeiro (Neves et al. 2007), plantas aromáticas como a menta (David et al. 2009) e cereais como Feijão (Boaro et al. 1996), trigo (Saqib et al. 2006) e milho (DONCHEVA et al. 2006).

2.4. TROCAS GASOSAS FOLIARES

As trocas gasosas foliares são os processos fisiológicos mais estudados e mais bem elucidados em todo o reino vegetal (reações luminosas, transporte de elétrons, reações enzimáticas), além de serem considerados essenciais para a sobrevivência das plantas (TAIZ & ZEIGER, 2009). A atividade fotossintética constitui o processo básico responsável pela acumulação de matéria seca das plantas, cerca de 95% (MARSCHNER, 1995; ALFONSI, 2003; EPSTEIN & BLOOM, 2006).

O acesso de CO₂ atmosférico às células fotossintéticas do mesófilo ocorre através da abertura estomática e, portanto, variações na condutância estomática (g_s) podem afetar tanto a assimilação de CO₂ (A_{net}) (Habermann, 2004) quanto a transpiração (RASCHKE 1979; FARQUHAR & SHARKEY 1982). A condutância estomática pode ser afetada por diferentes fatores, tais como as variações da concentração do ácido abscísico (Farquhar & Sharkey 1982), da temperatura (Berry & Bjorkman 1980, Gutschick 1997) e da nutrição mineral (Wong et al. 1979, Von Caemmerer & Farquhar 1981, Marschner 1995, Epstein & Bloom 2006), além de que, o conhecimento entre as relações fotossintéticas e os elementos minerais está bem documentado nas plantas (MALAVOLTA, 1980; MARSCHNER, 1995; GUTSCHICK, 1997; MENGEL & KIRKBY, 2001; EPSTEIN & BLOOM, 2006).

Embora a função dos elementos minerais seja bem investigada nos mecanismos fotossintéticos, como em trabalhos de Robinson et al. 2000, Bailey et al. 2002, Barber 2003, Cornah et al. 2003, Ramanian et al. 2004, Pilon et al. 2006, Kusunoki 2007, Hansch & Mendel 2009 e Maathuis 2009 a revisão de literatura levantada no presente estudo não captou nenhum estudo com trocas gasosas em plantas de *Annona emarginata* (SCHLTDL.) H. Rainer (araticum-de-terra-fria) cultivadas em diferentes níveis nutricionais, embora alguns esforços tenham sido realizados para elucidar as trocas gasosas em

plantas jovens de outras espécies anonáceas, em diferentes condições ambientais, todas elas com grande interesse comercial, relatados por Higuchi et al. (1998), Higuchi et al. (1999), Núñez-Elisea et al. (1999), Ojeda et al. (2004a) e Ojeda et al. (2004b).

Efeitos da temperatura do ar no crescimento, desenvolvimento e processos fisiológicos de algumas espécies anonáceas tem sido exaustivamente estudado (GEORGE et al., 1990; GEORGE & NISSEN, 1992; YAMADA et al., 1996; HIGUCHI et al., 1999). As espécies fruta-do-conde (*Annona squamosa* L.) e a cherimóia (*Annona cherimola* Mill.) apresentam comportamento distinto em regimes alternados de temperatura dia/noite (30°/25°C), com maior desenvolvimento apresentado pela espécie fruta-do-conde e prejuízos para a espécie cherimóia, com menores valores de assimilação de carbono por diminuir o conteúdo de clorofila nas folhas, fechamento estomático, aumento da respiração e limitada eficiência de carboxilação (HIGUCHI et al. (1999). A possível explicação se deva a maior sensibilidade da espécie cherimóia ao déficit de pressão de vapor (VPDL), o que não é relatada para fruta-do-conde, o que confirma o cultivo desta espécie realizado em regiões tropicais (HIGUCHI et al. 1998; HIGUCHI et al. 1999).

Já Ojeda et al. (2004a) afirmam que são poucos os relatos sobre a influência de diferentes temperaturas do solo na fisiologia, trocas gasosas e crescimento em anonáceas. A maioria das espécies anonáceas na fase vegetativa de planta jovem, cultivadas em vasos a temperatura de 25°C, foram menores do que os valores encontrados em plantas de Atemóia em pomar aberto (MARLER et al. 1994; NÚÑEZ-ELISEA et al. 1999; OJEDA et al. 2004b). Esta resposta tem sido atribuída pela inibição de A_{net} como resultado da restrição radicular exercida pelos vasos (SCHAFFER et al., 1999).

Outro aspecto avaliado nas respostas fotossintéticas em anonáceas é a o seu comportamento em situações de alagamento. Mielke et al. (2005) trabalhando com a espécie *Annona glabra* L. afirma que as elevadas taxas de sobrevivência e de crescimento de plântulas desta espécie estão diretamente relacionadas com a capacidade de manter elevados valores de condutância estomática e de taxa fotossintética líquida em condições de alagamento. Trabalhos de Núñez-Elisea et al. (1998) e Núñez-Elisea et al. (1999) demonstraram grande variação de tolerância entre as espécies do gênero *Annona*. Araticum (*Annona glabra* L.) e graviola (*Annona muricata* L.) são tolerantes, enquanto fruta-do-conde (*Annona squamosa* L.) e fruta-da-condessa (*Annona reticulata* L.) não são tolerantes.

Trabalho pioneiro com a investigação do desenvolvimento vegetativo em espécie anonácea pode ser encontrado em Keleg et al. (1980) que estudaram a espécie *Annona senegalensis* Pers. em meio salino, embora respostas fotossintéticas de espécies anonáceas não tem sido amplamente estudadas (MAAS, 1994). Estudos fotossintéticos em condições de salinidade da solução nutritiva são reportados por Marler & Zorzor (1996) em plantas jovens de fruta-do-conde (*Annona squamosa* L.) cultivadas em solução nutritiva com níveis crescentes de EC de água salinizada (água do mar) e concluíram que as

plantas são sensíveis a salinidade, já que apresentaram decréscimo em A_{net} , gs, E e WUE em níveis médios de estresse salino.

2.5. NUTRIÇÃO MINERAL

Para se obter mudas de alta qualidade é necessário atender à demanda adequada de nutrientes (FRANCO & PRADO, 2006). Aumentos significativos no crescimento e qualidade de mudas podem ser alcançados através da fertilização mineral, com reflexos no melhor desenvolvimento, na precocidade e na maior sobrevivência em campo (BARBOSA et al., 2003; NATALE, 2006; CECONI, 2007; ALVES et al., 2008).

De acordo com Epstein & Bloom (2006) os nutrientes são elementos químicos essenciais requeridos pelas plantas superiores e são exclusivamente de natureza inorgânica. Um dos critérios para caracterizar se um elemento é essencial para a planta é que ele seja indispensável à vida vegetal já que na sua ausência o ciclo de vida não se completaria (MALAVOLTA, 1980).

No estudo da nutrição mineral de plantas é necessário considerar a absorção de cada nutriente, porque, no processo de absorção, um pode exercer influência sobre o outro, dadas as possíveis interações que podem ocorrer, alterando, desta maneira, a composição mineral das folhas (RAIJ, 1991). No entanto a diagnose pode ser mais complexa, pois, a deficiência de mais de um nutriente pode ocorrer simultaneamente e o excesso de um nutriente pode afetar a absorção de outro nutriente (DUTRA, 2009).

As plantas necessitam em geral, para o seu ciclo de vida, de nutrientes essenciais, sendo três (C, H e O) provenientes do ar e da água e os elementos minerais nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre em grandes quantidades (>0,1% da massa seca), classificados como macronutrientes, os quais são essenciais para a planta completar seu ciclo de vida (MALAVOLTA, 1980; RAIJ, 1991; MAATHUIS, 2009). Normalmente esses minerais são absorvidos pelas raízes na forma iônica como os metais Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ presentes como cátions livres, Fósforo (P) e enxofre (S) como oxianions fosfato (PO_4^{3-}) e sulfato (SO_4^{2-}), respectivamente, e nitrogênio (N) como ânion nitrato (NO_3^-) ou cátion amônio (NH_4^+) (MALAVOLTA, 1980; MARSCHNER, 1995; MAATHUIS, 2009).

Os elementos boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), cloro (Cl), molibdênio (Mo), níquel (Ni) e zinco (Zn) são considerados micronutrientes, pois são requeridos em menores quantidades em relação aos macronutrientes, embora sejam considerados essenciais para o vegetal completar seu ciclo de vida (MARSCHNER, 1995; HANSCH & MENDEL, 2009).

Já Mengel & Kirkby (2001) e Epstein & Bloom (2006) propuseram que, em vez disso, os elementos essenciais sejam classificados de acordo com seu papel bioquímico e sua função fisiológica. O primeiro grupo de elementos essenciais é formado pelos compostos orgânicos (carbono) das plantas. As plantas assimilam esses nutrientes por meio de reações bioquímicas envolvendo oxidações e

reduções. O segundo grupo é importante em reações de armazenagem de energia ou na manutenção da integridade estrutural. Os elementos deste grupo estão comumente presentes em tecidos vegetais sob forma de fosfato, borato e ésteres silicato. O terceiro grupo está presente no tecido vegetal como íons livres ou ligados a substâncias tais como ácidos pécnicos, presentes na parede celular vegetal. De especial importância são seus papéis como cofatores enzimáticos e na regulação de potenciais osmóticos. O quarto grupo desempenha importantes funções em reações envolvendo transporte de elétrons.

Como organismo sésil por excelência, as plantas desenvolveram estratégias adaptativas e flexíveis para a aquisição de nutrientes e estes mecanismos são similares para todos os macronutrientes (MAATHUIS, 2009). Por exemplo, mecanismos de absorção no limite raiz-solo são tipicamente multifásicos, com afinidade variada para acomodar os diferentes substratos (MILLER, 2009). Deficiência localizada ou suprimento excessivo para muitos nutrientes induz a adaptações morfológicas tais como proliferação da raiz lateral no solo (MAATHUIS, 2009). Quando os nutrientes estão em excesso são estocados no vacúolo central e deficiências levam a depleção do acúmulo do vacúolo em geral para a manutenção dos requerimentos citoplasmáticos (TAIZ & ZEIGER, 2009). Excelente leitura sobre mecanismos de absorção radicular e distribuição pode ser encontrada em trabalhos de Miller (2009) e Karley & White (2009).

Os macronutrientes em contraste com sua alta quantia exigida pelos vegetais, estão geralmente presentes em baixas concentrações prontamente disponíveis na natureza e estes freqüentemente são acumulados contra um gradiente de concentração, além da disponibilidade sofrer ação de alguns fatores tais como precipitação, temperatura, aeração e p.H. (MARSCHNER, 1995; MAATHUIS, 2009).

O suprimento adequado de nutrientes minerais para as culturas é um dos fatores mais importantes para aumento de sua produtividade (FAGERIA et al., 1997). A nutrição mineral influencia direta e indiretamente o metabolismo do carbono devido a sua influencia no crescimento e na morfogênese (FAGERIA, 2001). Os efeitos bioquímicos sobre a fotossíntese acontecem porque os elementos minerais são componentes integrantes de enzimas e pigmentos ou, ainda, ativadores diretos do processo fotossintético (LARCHER, 2000).

A forma preferencial que no qual o elemento nitrogênio (N) é absorvido depende do meio (p.H.) e da espécie vegetal (MARSCHNER, 1995; MILLER & CRAMER, 2008). Em geral, plantas adaptadas em condições de baixo p.H. tendem a absorver a forma amoniacal (NH_4^+) e sob condições de p.H. mais elevado, (condições aeróbicas), NO_3^- é a forma predominante (MAATHUIS, 2009). Em contraste, compostos orgânicos contendo N, tais como aminoácidos são muito menos móveis e é crescente o número de evidências que estes também sejam fonte de nitrogênio (JAMTGARD et al., 2008, MILLER & CRAMER, 2008).

Sistemas múltiplos de absorção contribuem para a absorção de N nas raízes das plantas (MILLER & CRAMER, 2008). Em *Arabidopsis thaliana*, cuja aquisição primária de N é na forma de nitrato contém tanto sistemas transportadores de alta e baixa afinidade com afinidade por quantidade micromolar e milimolar (ORSEL et al., 2002). Em condições não aeróbicas, amônio é frequentemente a forma inorgânica de N, exemplo é o arroz que cresce em condições de alagamento e possuem grandes quantidades de sistemas transportadores de baixa e alta afinidade para o amônio (MILLER & CRAMER, 2008).

A mais importante função do N é fornecer grupos aminoácidos, além de ser essencial na bioquímica de muitos compostos não protéicos tais como co-enzimas, pigmentos fotossintéticos, metabolismo secundário e poliaminas e quando o suprimento é amplo, nitrato é depositado no vacúolo, onde contribui significativamente na geração do turgor vegetal (MARSCHNER, 1995; MAATHUIS, 2009).

O requerimento por nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio na fotossíntese está bem documentado por Malavolta et al. (1989) e Marschner (1995). Decréscimo na taxa fotossintética são observados sob deficiência de nitrogênio (Ciompi et al., 1996; Lima et al., 1999; Cruz et al., 2003; Fujita et al., 2004; Huang et al., 2004), fósforo (Lima et al., 1999) ou magnésio (Ding et al., 2008). Segundo Zeiger (2004b) o estado nutricional da planta altera a capacidade fotossintética da folha, destacando o nitrogênio, que pode alterar a eficiência de carboxilação da enzima Rubisco. Farquhar & Sharkey (1982) afirmam que a estimativa da eficiência instantânea de carboxilação pode correlacionar-se com a capacidade produtiva da planta.

O nitrogênio, componente essencial das proteínas e clorofilas, é necessário para a formação dos ácidos nucléicos, aminoácidos (Gorbe & Calatayud, 2010), enzimas e tilacóides (MARENCO & LOPES, 2005). De acordo com Larcher (2000) existe estreita correlação entre o conteúdo de nitrogênio na folha, a quantidade de clorofila e da Ribulose 1,5 bifosfato carboxilase (RuBP carboxilase). A enzima Ribulose 1,5 bifosfato carboxilase/oxigenase (Rubisco) é a proteína mais abundante nas folhas de plantas superiores, compreendendo 50% das proteínas solúveis das folhas.

A Rubisco apresenta enorme quantidade de N, sendo considerada a maior forma de armazenamento de N orgânico nas plantas superiores e essenciais para o funcionamento de todas as reações referentes ao ciclo de Calvin-Benson, portanto o nitrogênio encontra-se intimamente ligado ao metabolismo bioquímico fotossintético e seu equilíbrio é essencial para o funcionamento de todas as reações referentes ao ciclo de Calvin-Benson (SALISBURY ROSS, 1992; TAIZ & ZEIGER, 2009).

A relação entre a taxa de fotossíntese, quantidade de N orgânico na folha e eficiência fotossintética do uso desse nutriente, não é constante, devido a competição do N com o CO₂ nos seus processos de redução (EVANS, 1989; REICH et al., 1995). Portanto, a dose de nitrogênio fornecida à

cultura deve ser equilibrada em relação à quantidade dos outros nutrientes, principalmente fósforo e potássio (MALAVOLTA, 1980).

Durante o processo de assimilação do nitrato (fonte de N), a enzima nitrato redutase requer NADH (nicotinamida adenina dinucleotídeo) como doador de elétrons, reduzindo o nitrato em nitrito no citoplasma (BEEVERS & HAGEMAN, 1983; MARSCHNER, 1995). O nitrito por sua vez é muito tóxico para o vegetal, sendo transportado rapidamente para o interior do cloroplasto, onde é reduzido a amônio pela enzima nitrito redutase (MARSCHNER, 1995). Para que ocorra esta reação é necessária presença da ferredoxina reduzida (aceptora adicional de elétrons do fotossistema I) no transporte de elétrons da fotossíntese (WARNER & KLEINHOF, 1992). Esse processo de redução do nitrato a amônio compete com o CO₂ por ferredoxina reduzida (redutase nitrito no cloroplasto) e NADH no citosol (redutase nitrato), o que pode resultar em queda na eficiência do transporte eletrônico, acarretando diminuição na produção de ATP e NADPH (nicotinamida adenina dinucleotídeo fosfato), necessários para a fixação de CO₂ no ciclo de Calvin-Benson e regeneração da RubP (Ribulose 1,5 bifosfato), diminuindo de forma substancial a velocidade de formação de açúcar (MARSCHNER, 1995; TISCHER, 2000; ORSEL et al., 2002; TAIZ & ZEIGER, 2009).

Em relação ao fósforo (P) mais de 90% da quantidade total é fixada e não pode ser utilizada pelas plantas e a outra parte de P insolúvel, a “fração lábil”, é disponibilizada na solução do solo, desta maneira o fósforo inorgânico descarregado do compartimento lábil pode ser absorvido pelas plantas (MARSCHNER, 1995). A forma que as plantas absorvem o fósforo inorgânico é dependente do p.H. do meio, com preferência para a forma H₂PO₄ (MAATHUIS, 2009).

A limitada quantidade de fósforo disponível para as plantas levou a evolução de várias adaptações vegetais a fim de suprir as necessidades do vegetal para este elemento: mais de 90% das espécies formam associações simbióticas micorrizicas para a aquisição deste elemento (SMITH & READ, 1995). Expressão gênica de sistemas transportadores de alta e baixa afinidade depende grandemente do suprimento de P (CHEN et al., 2008; MILLER, 2009) e a presença dessas associações micorrizicas também impactam a expressão gênica de transportadores (PASZKOWSKI et al., 2002).

O papel essencial do P se dá em muitos aspectos do metabolismo celular e é evidente pelas grandes quantidades de P que são armazenadas nas sementes para habilitar o desenvolvimento do embrião, germinação e crescimento da plântula (MARSCHNER, 1995). Fósforo é tipicamente armazenado em proteínas acumuladoras de vacúolo como inositol-hexa-phosphate (IP6) ou ácido fítico, um excelente quelante de cátions contendo uma massa de minerais, tais como Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺, além de seqüestrar alguns micronutrientes como Fe²⁺ e Zn²⁺ (MITSUHASHI et al., 2005).

O fósforo exerce cinco funções principais: 1^o é parte de moléculas grandes ou agrupamentos de moléculas como DNA, RNA e os fosfolipídios das membranas; 2^o transportador de substratos, como na

glucose fosfato e muitas coenzimas, como um transportador e transdutor de energia química, como na adenosina trifosfato (ATP); 3º participa da sinalização celular, como no inositol trifosfato; 4º modifica proteínas irreversivelmente; 5º é uma constituinte de biominais (em animais) (MALAVOLTA et al., 1989; MARSCHNER, 1995; GAUDE et al., 2008).

A deficiência de nutrientes como N, P ou S leva a aumento do conteúdo de amido nas folhas, aumentando a razão raiz/brotação (THOMPSON et al., 1992; ERICSSON et al., 1996). O ortofosfato e triose fosfato controlam a compartimentalização do fixado como amido no cloroplasto ou como sacarose no citosol (MITSUHASHI et al., 2005). Baixa concentração de ortofosfato no citosol limita a exportação de triose fosfato do cloroplasto por intermédio de transportador, promovendo, assim, a síntese de amido e a abundância de ortofosfato no citosol inibe a síntese de amido dentro do cloroplasto e estimula a exportação de triose fosfato para o citosol, onde ela é convertida em sacarose (ZEIGER, 2004b).

O elemento fósforo é onipresente no metabolismo das plantas (DAVID, 2007). Diferente do nitrogênio, do nitrato, do enxofre e do sulfato, ou outros ânions quantitativamente maiores, o fósforo do fosfato não passa por troca de valências em seus múltiplos papéis na bioquímica de plantas (MAATHUIS, 2009). O fósforo permanece tanto como fosfato (PO_4^{3-}) como pirofosfato ($\text{P}_2\text{O}_7^{4-}$) (Epstein & Bloom, 2006). De acordo com Westheimer (1987) nenhum outro elemento parece desempenhar os múltiplos papéis do fosfato na bioquímica, entre eles, o de grande importância e exclusivo de plantas: a fotossíntese.

O principal ponto de entrada do fosfato na via de assimilação ocorre durante a formação do ATP e na mitocôndria a energia para a síntese do ATP é proveniente da oxidação do NADH pela fosforilação oxidativa (MAATHUIS, 2009). O ATP pode também ser sintetizado segundo fosforilação dependente da luz no cloroplasto (ZEIGER, 2004b). A oferta de fósforo inorgânico também regula o ciclo de Calvin e o transporte de metabólitos e de compostos assimilados (LARCHER, 2000).

Segundo Carmelo (1989) a eficiência das plantas em obter quantidades suficientes de um nutriente para o seu pleno desenvolvimento não depende apenas de sua concentração em forma disponível no meio nutritivo, mas também de fatores ambientais e fisiológicos da planta, que afetam a sua absorção. A interação do potássio com a maioria dos macro e micronutrientes é bastante conhecida interações podem restringir ou aumentar a absorção, transporte e utilização dos nutrientes (DAVID, 2007).

A adição de K^+ nem sempre, implica diminuição dos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} na planta o que pode ser explicados simplesmente considerando o efeito de diluição, uma vez que a planta bem nutrida em K^+ cresce mais (DAVID, 2007). Na maioria das vezes, mesmo havendo redução dos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} nos tecidos foliares das plantas, esses teores ainda podem ser classificados na faixa de suficiência, não

causando, portanto, danos ao crescimento ou à produção (ROSOLEM, 2005). De acordo com Malavolta (1976) o antagonismo entre o K^+ e o Ca^{2+} é resultado de uma competição iônica na solução do solo e baixas concentrações de Ca^{2+} podem provocar um efeito estimulante na absorção de K^+ . Porém, ao aumentar a concentração de Ca^{2+} , o estímulo diminui, até ocorrer inibição competitiva entre esses cátions, causando redução na absorção de K^+ pelas plantas (SOARES et al., 1983). Da mesma forma, elevadas concentrações de K^+ reduzem a absorção de Ca^{2+} (KURIHARA, 1991).

A resposta de uma cultura ao K^+ depende, em grande parte, do nível em que se encontra a nutrição nitrogenada, geralmente, quanto maior o suprimento de N, maior o aumento de produtividade devido ao K^+ , de modo que a possibilidade de interação de N e K^+ (MURPHY, 1980; DIBB & THOMPSON JUNIOR, 1985). Embora alguns autores admitam que possa ocorrer competição de NH_4^+ com K^+ (Claassen e Wilcox, 1974), atualmente é aceito que este não é o aspecto mais importante desta interação.

A crosta terrestre contém em torno de 2,6% do elemento potássio, concentrações típicas nos solos variam entre 0,1mMol e 1 mMol e deficiências são raras mas o crescimento vegetal é geralmente estimulado pela adição de suprimento de potássio e fertilização potássica é prática comum em muitas áreas produtoras (MAATHUIS, 2009).

Assim como nitrogênio, potássio (K^+) é absorvido nas raízes por componentes de alta e baixa afinidade (MAATHUIS & SANDERS, 1994). Estudos eletrofisiológicos sugerem que o transporte passivo se dá por canais iônicos com K_m milimolar e o transporte ativo através de co-transportadores sujeito a níveis micromolares com componentes de baixa-afinidade e alta-afinidade de absorção de potássio, respectivamente (MAATHUIS & SANDERS, 1995).

O potássio é necessário em reações metabólicas devido sua capacidade de ativar grande número de enzimas, além de estar envolvido diretamente em enzimas envolvidas no metabolismo do carbono, tais como piruvatoquinase, fosfofrutoquinase e ADP-glicose amido sintase (MARSCHNER, 1995).

O requerimento bioquímico pelo potássio é caracterizado frequentemente como base para o estreito controle homeostático no citosol celular (MAATHUIS & SANDERS, 1995; RODRIGUEZ-NAVARRO & RUBIO, 2006). O papel dominante do K^+ no fornecimento de turgor e na homeostase hídrica evidencia a participação deste elemento no direcionamento do transporte de solutos no xilema e floema, altos níveis são acumulados no vacúolo e grandes fluxos de potássio são responsáveis por mediar o movimento vegetal, como exemplo, a abertura estomática (MAHOUACHI et al., 2006).

A concentração de potássio nas células-guarda aumenta várias vezes e essas grandes alterações de concentração são equilibradas eletricamente pelos ânions Cl^- e malato²⁻ (MARSCHNER, 1995). O íon Cl^- é trazido para dentro das células-guarda durante a abertura dos estômatos e expelido no fechamento. Já o malato, sintetizado no citosol da célula-guarda em uma rota metabólica, utiliza

esqueletos de carbono gerados pela hidrólise do amido (MARENCO & LOPES, 2005; TAIZ & ZEIGER, 2009).

A enzima Rubisco, a qual afeta a taxa de assimilação de CO₂, tem como precursor o elemento potássio (K⁺). Em cloroplastos de folhas deficientes em potássio há reduzida atividade nas enzimas do ciclo de Calvin, mais precisamente da Rubisco, pois o K⁺ está envolvido em vários passos do processo de transdução, incluindo a ligação do RNA transportador (tRNA) com o ribossomo durante a síntese de proteína (WILKINSON, 1994). Assim, a síntese desta enzima é particularmente diminuída em plantas deficientes em K⁺ e aumenta rapidamente com o suplemento deste nutriente (MARSCHNER, 1995).

Assim como o potássio, o cálcio (Ca²⁺) é muito abundante na litosfera terrestre, embora o processo intempérico possa ocasionar deficiência em cálcio, uma condição que é acelerada pelo baixo p.H. do solo, além de que este elemento pode formar compostos insolúveis com outros elementos tais como o fósforo, tornando este último menos disponível para a plantas (MARSCHNER, 1995; MAATHUIS, 2009).

A absorção de Ca²⁺ ocorre no ápice radicular, através de canais permeáveis de cálcio, embora alguns canais sejam “não seletivos” para o mesmo e sua identidade protéica que medeia a absorção de cálcio seja desconhecida (DEMIDCHIK & MAATHUIS, 2007). Dentro da planta o Ca²⁺ tende a ser seqüestrado no grande vacúolo das células maduras e nos órgãos que apresentam dificuldade de transpiração, como as folhas novas e mais internas, o transporte do cálcio é dependente das condições ambientais que favoreçam o desenvolvimento da pressão radicular (BRADFIELD & GUTTRIDGE, 1984). White (2001) afirma que nenhum transportador foi identificado como responsável pelo carregamento no xilema e a proporção deste elemento no xilema pode aumentar via apoplasto, além de apresentar baixa mobilidade nos sistema vascular.

O vacúolo pode ser considerado um dos mais importantes reservatórios de cálcio para a homeostase desse elemento no simplasto, em parte devido ao seu grande volume (FAZIO, 2007). O nível de cálcio nesse compartimento pode variar de 100 micromoles a 100 milimoles, além de serem encontradas no vacúolo grandes quantidades de ácidos orgânicos, como os ácidos fítico, oxálico e fosfórico, que ao ligarem-se covalentemente ao cálcio, o tornam indisponível (BETHKE et al., 1995).

O cálcio desempenha inúmeras funções na célula vegetal: constituinte da lamela média e parede celular ao se ligar não covalentemente por ligação de valência coordenada, compartilhando elétrons na parede celular, formando complexos com os ácidos poligalacturônicos; manutenção da integridade das membranas devido à estabilização que mantém entre as cabeças dos fosfolipídeos; cofator de enzimas que atuam na hidrólise de ATP e de fosfolipídeos; essencial na formação do fuso mitótico e orientação da divisão celular; nodulação em leguminosas; crescimento do tubo polínico por meio de quimiotropismo; crescimento e desenvolvimento do sistema radicular (produção da coifa das raízes);

mecanismo de produção de calosidade nas raízes e parte aérea, ao sofrer injúria; mensageiro secundário de respostas à sinais ambientais, por exemplo a regulação estomática e por fim agente regulador de processos metabólicos, quando ligado à calmodulina (ALLAN et al., 1994; MARSCHNER, 1995; EPSTEIN & BLOOM, 2006; MAHOUACH et al., 2006; MCAINSH & PITTMAN, 2009; MAATHUIS, 2009; TAIZ & ZEIGER, 2009).

Outra característica relevante do Ca^{2+} é que, ao mesmo tempo em que são adequados para atuarem como sinalizadores ou mensageiros celulares são inadequados para servirem como elementos efetadores no metabolismo (BETHKE et al., 1995). O referido autor afirma que para o íon tornar-se um potente elemento efetador na célula, deve ligar-se a proteínas e que, com esta ligação, alterem sua conformação e possibilitem a modulação de processos de respostas bioquímicas e fisiológicas. Também existem registros de que o cálcio presente na matriz mitocondrial estaria fixado na forma insolúvel de sais de cálcio (TAIZ & ZEIGER, 2009).

O elemento magnésio (Mg^{2+}) teve seu nome derivado do grego “magnésia”, região da Grécia onde foi encontrado este mineral (MAATHUIS, 2009). Devido ao seu pequeno raio de hidratação a absorção de Mg^{2+} do solo é baixa, além de ser facilmente lixiviado, o que torna comum a deficiência de magnésio (DENG et al., 2006). Nas plantas o Mg^{2+} citoplasmático livre é na ordem de 0,5mMolar (Yazaki et al., 1998) mas o total dos níveis nas plantas variam de 0,3 a 1,0% (DENG et al., 2006). A absorção de Mg^{2+} se dá nas raízes, provavelmente através do processo de absorção através de transportadores da família MGT (HAMMOND et al., 2003).

O magnésio é um elemento essencial, portanto, a planta não completa o ciclo de vida sem o mesmo (MAATHUIS, 2009). Este nutriente que é o átomo central da molécula de clorofila é requerido também por muitas enzimas envolvidas na transferência de fosfato, como por exemplo, magnésio quelatase e PEP carboxilase (WALKER & WEINSTEIN, 1991). Além da importância do Mg^{2+} na ativação de enzimas envolvidas na respiração, síntese de DNA e RNA e na fotossíntese o elemento é também requerido para o empilhamento dos tilacóides, para ação de enzimas envolvidas na assimilação de CO_2 , na partição dos fotoassimilados entre amido e sacarose (BARBER, 1982; CAMMARANO et al., 1972; MEHNE-JAKOBS, 1996) e manutenção da integridade do ribossomo, necessária para a síntese de proteínas (MARSCHNER, 1995).

Inserção de Mg^{2+} dentro da protoporfirina é conduzida pela enzima Mg-quelatase, consistindo de diversas subunidades que pertencem a super família protéica AAA (ATPases associadas com várias atividades celulares) (AXELSSON et al., 2006; SIRIJOVSKI et al., 2008) mostrando que porfirina induz mudanças conformacionais na subunidade *BchH* que possivelmente fornece distorção do anel de porfirina necessário para o sequestro de Mg^{2+} na estrutura molecular (ANKELE et al., 2009). Quanto os pigmentos do complexo antena, estes recebem luz, transferem essa energia para o centro de reação,

concentrando-a em quantidade suficiente para retirar os elétrons frouxamente ligados para serem transferidos para o fotossistema II (MARENCO & LOPES, 2005). Tais elétrons passam então, por uma série de carreadores e os provenientes do fotossistema II reduzem o fotossistema I, enquanto os provenientes do fotossistema I reduzem NADP^+ (TAIZ & ZEIGER, 2009).

Em condições aeróbicas, o enxofre (S) inorgânico está presente principalmente como sulfato (SO_4^{2-}) e esta também é a forma no qual as plantas absorvem muito do enxofre (MAATHUIS, 2009). Entretanto, o ambiente reduzido criado pelo alagamento pode aumentar íons sulfito tais como FeS, FeS_2 e H_2S . O S é largamente absorvido como SO_4^{2-} por transportadores de sulfato, energizados por gradiente protônico (Hawkesford & De Kok, 2006; Rennenberg et al., 2007; Miller, 2009) além das plantas poderem extrair S da atmosfera onde ocorrem como SO_4^{2-} (MAATHUIS, 2009). Em raízes, membros da família *Sultr* constituem os mecanismos de absorção localizados na epiderme e membrana plasmática (YOSHIMOTO et al., 2007; ROUACHED et al., 2008).

O sulfato é altamente móvel e é rapidamente transportado através do xilema para a parte aérea onde grande parte é reduzido ou mesmo depositado no vacúolo como sulfato (MARSCHNER, 1995). Embora algum SO_4^{2-} possa ser reduzido no plastídio de raiz, acredita-se que a grande quantidade de S reduzido é realizada no cloroplasto das folhas com assimilação de S envolvendo a redução de SO_4^{2-} para SO_3^{2-} e subsequentemente para S^{2-} , que é incorporado ao aminoácido cisteína (KARIM et al., 2007).

O enxofre apresenta papel fundamental para Tiamina, biotina e coenzima A, essenciais para o metabolismo quando ligadas a apoenzimas apropriadas (proteínas) que requerem estas coenzimas ou grupos prostéticos para atividade catalítica (EPSTEIN & BLOOM, 2006). As ferredoxinas, proteínas que contêm ferro e não apresentam grupo Heme, implicado na fotossíntese e em outras reações de transferência eletrônica, contem enxofre em quantidade equivalente ao ferro presente (EPSTEIN & BLOOM, 2006; HANSCH & MENDEL, 2009).

A produção de glutatona serve como um carreador móvel de S reduzido, mas seu papel principal é agir como redutor na desintoxicação de espécies reativas de oxigênio (MAATHUIS, 2009). As fitoquelatinas (PCs) possuem uma estrutura geral de (Glu-Cis) $_n$ -Gli com alta afinidade por metais pesados (Arsênio) desintoxicando as células destes compostos (Foyer et al., 2007) e forte correlação entre o estresse por metais pesados e absorção de sulfato (CLEMENS, 2006).

Esforços têm sido gastos para aumentar a produção de PC, não apenas para produzir plantas mais tolerantes a poluentes tais como arsênio e cádmio, mas também fornecer potencial para fitorremediação (CLEMENS, 2006). Recentemente, evidências têm apontado que as PCs podem estar envolvidas em homeostase dos metais na célula: em *Arabidopsis thaliana* redução da síntese de PCs afetam o acúmulo de zinco nas raízes e outros essenciais micronutrientes (TENNSTEDT et al., 2009).

Outro papel fundamental do S é na formação dos sulfolipídeos, que normalmente são encontrados em pequenas proporções nos tilacóides do cloroplasto (MAATHUIS, 2009). Porquê as membranas fotossintéticas requerem tais lipídeos ainda não está claro, mas é sugerido que eles sejam essenciais para a estabilização dos componentes fotossintéticos (HAMMOND et al., 2003). No entanto, níveis de sulfolipídeos não são estáticos. Por exemplo, deficiência de fósforo pode aumentar esta fração: fosfolipases não específicas e fosfatases são responsáveis pela degradação dos fosfolipídeos por aumentar a quantidade de fósforo inorgânico (Pi) e ao mesmo tempo a transcrição de sulfolipídeos (RAMANIA et al., 2004; GAUDE et al., 2005)

O sulfato proveniente da atmosfera deriva da indústria, queima de carvão e frequentemente alcançam níveis de S bem maiores que 100 mg/m^3 e isto de certa maneira é prejudicial particularmente para as florestas sempre que esses níveis ultrapassarem 50 mg/m^3 (MAATHUIS, 2009).

As interações entre o nitrogênio e o enxofre podem causar um efeito sinérgico ou antagônico (MALAVOLTA et al., 1980; MARSCHNER, 1995; MENGEL & KIRKBY, 2001). Com a falta de S diminui a síntese de aminoácidos sulfurados e proteínas, conseqüentemente ocorre a diminuição da eficiência da utilização do nitrogênio; enquanto o excesso causa a diminuição da colheita (EPSTEIN & BLOOM, 2006; MALAVOLTA & MORAIS, 2007).

O Boro (B), devido sua natureza bioquímica, sugere a possibilidade de uma ampla variedade de funções biológicas, tais como síntese protéica, transporte de açúcares, respiração, hormônios vegetais (IAA), lignificação, formação do tubo polínico, retenção floral e metabolismo de carboidratos, no entanto, a exata função metabólica não está totalmente entendida (BLEVINS & LUKASZEWSKI, 1998; KOHORN, 2000; CAMACHO-CRISTOBAL et al., 2008; HANSCH & MENZEL, 2009).

Alguns trabalhos mostram que o boro pode estimular bomba protônica que causa hiperpolarização do potencial de membranas (BLEVINS & LUKASZEWSKI, 1998). Mais de 90% do boro nas plantas é encontrado nas paredes celulares, além da ramnogalacturonan II ser confirmada como ligante com o boro (KOHORN, 2000). Boro também é apontado como promotor da integridade estrutural de biomembranas e a formação de superfície de transporte para lipídios (MARSCHNER, 1995).

O elemento cloro (Cl) é conhecido por fazer parte em mais de 130 compostos orgânicos vegetais (ENVILD, 1986). Deficiência em cloro é descrita em solos arenosos em condições de frio ou elevados índices pluviométricos, em condições experimentais, a fim de fornecer prova da essencialidade deste elemento para a vida das plantas (BROYER et al., 1954).

O cloro por ser um ânion muito móvel nas plantas tem suas funções relacionadas com o balanço de cargas elétricas (HANSCH & MENDEL, 2009). No cloroplasto o cloro é constituinte estrutural do fotossistema II como um importante cofator (KUSUNOKI, 2007). A bomba protônica

localizada no tonoplasto é especificamente estimulada pelo cloro (Churchill & Sze, 1984) assim como a abertura e fechamento estomático da célula guarda é mediado pelo fluxo de potássio e ânions tais como malato e cloro (HANSCH & MENDEL, 2009).

O efeito do cloro na fisiologia do vegetal pode se relacionar diretamente como o movimento seismonástico da folha, o chamado “motor osmótico”, por exemplo, em plantas de *Mimosa pudica*, resultado das mudanças conformacionais em dois especializados órgãos foliares, os chamados *pulvinus* (Moran, 2007) ou indiretamente como o crescimento vegetal pela regulação estomática (HANSCH & MENDEL, 2009).

O elemento cobre (Cu) é o de maior importância para a vida. Este é essencial para a fotossíntese e respiração mitocondrial, para o metabolismo do carbono e do nitrogênio, para a proteção contra estresse oxidativo e é requerido pela parede celular, para citar alguma das suas funções celulares (MARSCHNER, 1995). Sob condições fisiológicas, o cobre existe em dois estados oxidativos, Cu^{+1} e Cu^{+2} , atua como agente redutor ou oxidante em reações bioquímicas, mas ao mesmo tempo esta propriedade torna-o potencialmente tóxico, podendo catalizar produção de radicais livres (HANSCH & MENDEL, 2009).

Imediatamente após a absorção deste elemento a maioria dos íons cobre é ligada a proteínas como as metalotioneínas, para prevenir o acúmulo de cobre na sua forma tóxica, entretanto parte deste não é capturado por este sistema e sim por pequenas proteínas ligantes, as chamadas chaperonas de cobre (O’Halloran & Culotta, 2000; Huffman & O’Halloran, 2001) responsáveis por conduzir o cobre não tóxico até o seu sítio alvo celular. No alvo protéico citosólico, as chaperonas de cobre inserem o metal em sítios congnavivos de proteínas, no entanto muito pouco destas proteínas já foram caracterizadas (WINTZ & VULPE, 2002).

O cobre também é encontrado em proteínas carreadoras de elétrons como as plastocianinas que contém mais de 50% do cobre plastídico (PILON et al., 2006). Mais da metade do cobre nas plantas participa em reações fotossintéticas, deste modo, deficiência de cobre torna-se visível primeiro em folhas jovens com conseqüências na redução do crescimento da planta inteira e folhas que murcham facilmente (HANSCH & MENDEL, 2009)

O metabolismo do cobre está intimamente ligado ao metabolismo do ferro. Dependendo da bioavaliabilidade do cobre e do ferro as plantas possuem enzimas para uso alternativo de cobre versus ferro, catalizando assim a mesma reação bioquímica com apoproteínas completamente diferentes (Merchant et al., 2006) processo este envolvendo regulação por microRNAs. Exemplos incluem a Cu-nitrito versus Heme-nitrito redutase, Cu/Zn-superóxido dismutase versus Fe-superóxido dismutase e citocromo oxidase versus oxidase di-férrica (YAMASAKI et al., 2007). Finalmente o cobre também

participa de receptores de etileno (Rodriguez et al., 1999) e está envolvido na biossíntese do cofator do elemento molibdênio (KUPER et al., 2004)

Assim como o cobre, ferro também é de grande importância para a vida. Como metal de potencial redox-ativo, está envolvido na respiração mitocondrial, assimilação do nitrogênio, biossíntese hormonal (etileno, ácido giberélico e ácido jasmônico), produção e limpeza de espécies reativas de oxigênio, osmoproteção e defesa contra patógenos, além de que de 80% do ferro celular é encontrado nos cloroplastos, com consistente função fotossintética (HANSCH & MENDEL, 2009).

Dependendo do tipo de ligação férrica, este elemento pode ser agrupado em 3 diferentes grupos protéicos contendo ferro: tipo I – proteínas com agrupamento ferro-enxofre; tipo II – proteínas contendo grupo heme e tipo III – outras proteínas férricas (HANSCH & MENDEL, 2009)

Proteínas com agrupamento Fe-S tem função principal na transferência de elétrons (ferrodoxinas), constituem parte do substrato do sítio de ligação em enzimas, regulação transcricional e translacional e estão envolvidos na redução do SO_2^- e doação de S, exemplo as Tioeredoxinas e reguladores de outras proteínas (aconitase) (MARSCHNER, 1995 & HANSCH & MENDEL, 2009). Este complexo enzimático assemelha-se ao apresentado por bactérias, equivalente em mitocôndria e cloroplastos (XU & MOLLER, 2008)

O grupo das Heme-proteínas é bem conhecido pela ação na fotossíntese e citocromos respiratório, envolvendo transferência de elétrons, além de glóbulos ligado ao oxigênio. Outros exemplos incluem enzimas catalases, peroxidases, NADPH oxidases (envolvidas na produção e/ou limpeza de radicais livres) e as citocromos P450 (EPSTEIN & BLOOM, 2006; HANSCH & MENDEL, 2009). Em plantas, heme-proteínas estão distribuídas em localizações subcellulares, mas esta situação é mais complexa pelo fato de que heme seja sintetizado tanto na mitocôndria e cloroplasto (CORNAH et al., 2003)

O grupo das outras proteínas férricas (que às vezes podem ser agrupadas em heme-proteínas) é diretamente ligado ao ferro, isto é, nem como heme ou Fe-S (HANSCH & MENDEL, 2009). Entre estas proteínas, ferritinas são proteínas plastídicas de armazenamento e controlam a interação entre a homeostase de ferro e estresse oxidativo em *Arabidopsis thaliana* (RAVET et al., 2009). São proteínas que podem armazenar 4500 átomos de ferro em formas solúveis e disponíveis (Harrison & Arosio, 1996), com maior ocorrência em plastídios de plantas não verde, como etioplastos e amiloplastos, mas não em cloroplastos maduros (BRIAT & LOBREAUX, 1998).

Manganês (Mn) é essencial para o metabolismo e desenvolvimento vegetal, ocorre nos estados oxidados Mn^{+2} , Mn^{+3} e Mn^{+4} em aproximadamente 35 enzimas das células vegetais (HEBBERN et al., 2009). Mn pode exercer duas funções nas proteínas: Serve como metal catalítico ativo, exemplo são as superóxido dismutases (SOD) protegendo contra os efeitos danosos dos radicais livres, assim como a

oxalato oxidase responsável pela fotólise da água, necessária para o fotossistema II (Barber, 2003) ou exerce papel ativo em enzimas, como exemplo as enzimas málicas, isocitratos desidrogenases, PEP carboxiquinases e fenilalaninas (MARSCHNER, 1995).

Entre os vários grupos de enzimas ativadas por manganês, o papel deste elemento é menos específico e em muitos casos pode ser substituído pelo magnésio (MARSCHNER, 1995). As proteínas pertencentes a este grupo estão envolvidas na via do ácido chiquímico e conseqüentemente originando aminoácidos aromáticos, ligninas, flavonóides e ácido Indol acético, além de estarem presentes na ativação de muitas enzimas do metabolismo do nitrogênio (glutamina sintase e arginase), biossíntese de ácido giberélico e RNA polimerase (HANSCH & MENDEL, 2009; TAIZ & ZIEGER, 2009)

Poucas proteínas vegetais, descritas na literatura, apresentam molibdênio (Mo) em sua composição. Estas proteínas, no entanto são muito importantes, pois estão envolvidas nas mais diversas funções metabólicas tais como assimilação de nitrogênio, metabolismo do enxofre, biossíntese hormonal e reações de estresse (SCHWARZ & MENDEL, 2006). A redução do nitrato é o evento chave para a assimilação de nitrato, enquanto que a nitrogenase é encontrada em bactérias fixadoras dentro de nódulos em espécies em simbiose com as raízes dos vegetais (HANSCH & MENDEL, 2009).

A última etapa da biossíntese do ácido abscísico é catalizada pelas enzimas aldeído oxidase e sulfito oxidases, protegendo contra os níveis tóxicos de sulfito, por exemplo, as chuvas ácidas (MARSCHNER, 1995). Recentemente, uma nova enzima de molibdênio (componente reducional amidoxima mitocondrial ou simplesmente *mARC*) foi encontrado no envelope mitocondrial de mamíferos (HAVEMEYER et al., 2006) catalizando a redução das amidinas hidroxiladas em combinação com o citocromo b5 e citocromo b5 redutase (HANSCH & MENDEL, 2009) além de que esta nova enzima é amplamente distribuída na natureza como homóloga entre plantas e eubactérias (KOZMIN et al., 2008).

Em todos os organismos, Mo é complexado por um composto chamado pterina formando o cofator de molibdênio, a fim de ganhar a atividade biológica. Com exceção das nitrogenases fixadoras de N, todas as enzimas contendo Mo são caracterizadas por conter o cofator tipo pterina (HILLE, 1995). Curiosamente, as enzimas contendo molibdênio produzem espécies reativas de oxigênio (sulfito oxidase, aldeído oxidase, xantina desidrogenase) ou NO redutase (nitrato) como produtos da reação (SCHWARZ & MENDEL, 2006).

O metabolismo do Mo está intimamente ligado ao metabolismo do ferro e cobre em muitos aspectos (KUPER et al., 2004; SCHWARZ & MENDEL, 2006). Em todos os organismos, enzimas participantes da primeira etapa da biossíntese do cofator de molibdênio contém agrupamentos Fe-S, entre elas nitrogenase, aldeído oxidase e xantina desidrogenase, além da Nitrato redutase conter ferro

na forma de grupo heme (HANSCH & MENDEL, 2009). Relação entre Mo e o metabolismo do Cu foi encontrado ser essencial para a formação de um cofator intermediário de Mo (KUPER et al., 2004).

O elemento níquel (Ni) é essencial em inúmeras enzimas de procariotos como desidrogenases e metil redutases, mas é pouco utilizado como cofator em eucariotos (HANSCH & MENDEL, 2009). Entre as plantas, o Ni ocorre nos estados oxidativos Ni^+ , Ni^{+2} e Ni^{+3} e a ausência deste elemento acarreta acúmulo de uréia na plantas, com completa perda da atividade da urease dentro da célula (ESKEW et al., 1984; BAI et al., 2006).

A urease é responsável por hidrolizar a uréia em dióxido de carbono e amônia, além de atuar na proteção contra fitopatógenos, relacionado á liberação de amônia (BENINI et al., 1999; FOLLMER, 2008). Uma adicional proteína ligada ao Ni^{+2} foi identificada em soja (*Glycine max.* L.) e age como metalochaperona de Ni, essenciais para a atividade da urease (FREYERMUTH et al., 2000).

O zinco (Zn) é um importante componente de enzimas para a síntese protéica e produção de energética, além da manutenção da integridade de biomembranas (MARSCHNER, 1995; HANSCH & MENDEL, 2009). Mais de 1200 proteínas contém, se ligam ou transportam Zn^{+2} incluindo, entre outras, um grande número das chamadas “dedos de zinco” contidas em fatores de transcrição (Kawagashira et al., 2001), oxiredutases e enzimas hidrolíticas tais como metaloproteínas, além do Zn desempenhar importante função como importante papel no desenvolvimento de sementes (LOPES et al., 1999; KRAMER & CLEMENS, 2001).

Em cloroplastos, as enzimas dependentes de zinco exercem muitas funções (HANSCH & MENDEL, 2009). A peptidase de processamento do estroma SPP (Richter & Lamppa, 2003) é dependente de zinco em analogia ao sistema mitocondrial (LUCIANO et al., 1998; STAHL et al., 2002). Além disso, dentro do cloroplasto atividades proteolíticas são dependentes de zinco, por exemplo, no reparo do fotossistema II (BAILEY et al., 2002).

Deficiência de Zn reduz as taxas fotossintéticas em plantas pelo distúrbio da atividade da anidrase carbônica, o que é limitante enzimático na fixação de CO_2 em plantas C₄, Cu/Zn superóxido dismutase e D-ribulose-5-fosfato 3-epimerase, uma enzima do ciclo de Calvin e via da pentose fosfato (JELAKOVIC et al., 2003). Além disso, cloroplasto, lisossomo, espaço apoplástico são compartimentos com atividades hidrolíticas dependentes de Zn (Maidment et al., 1999; Sullivan et al., 2003) e está envolvido na transdução através de proteínas quinases ativadas por mitógeno (LIN et al., 2005).

A nutrição mineral em plantas jovens de espécies da família Annonaceae é pouco investigada, sendo que as informações encontradas na literatura são em sua grande maioria com espécies de maior interesse comercial, como a graviola, fruta-do-conde e a atemóia (PINTO et al., 2005). A técnica do elemento faltante é descrita por Avilán et al. (1975), Silva et al. (1986), Piza Júnior (1988) Kavati, (1992), Batista et al. (2003), Silva & Farnezi (2009). Investigações do substrato que resulte em plantas

jovens com qualidade superior são relatadas por Costa et al. (2005), Barbosa et al., 2003; Souza et al. (2003), Campos et al. (2008), Oliveira et al., 2009 e Lima et al. (2009).

Embora os estudos com espécies da família Annonaceae citados acima, sobre a formação de plantas jovens sejam de suma importância para um programa de nutrição mineral, pouco ou quase nada é relatado em relação aos efeitos fisiológicos que os elementos minerais desempenham no desenvolvimento vegetativo. Esta situação se agrava mais quando é levado em consideração que são praticamente nulos, ou melhor dizendo, nada se sabe em relação a nutrição mineral em plantas jovens da espécie *Annona emarginata* (SCHLTDL.) H. Rainer (araticum-de-terra-fria), afirmação esta feita com base em levantamentos bibliográficos realizados nas mais diversas e conceituadas bases de dados (CAB abstracts, PubMed, Isiknowledge, Scopus, Science Direct) de trabalhos científicos.

2.6. ANÁLISE DE CRESCIMENTO

Independente das dificuldades inerentes ao conhecimento sobre a complexidade que envolve o crescimento das plantas, a análise de crescimento ainda é o meio mais acessível e bastante preciso para avaliar o crescimento e inferir a contribuição de diferentes processos fisiológicos sobre o comportamento vegetal (CAUSTON & VENUS, 1981; MAGALHÃES, 1986). A análise de crescimento de plantas é usada para avaliar diferenças no crescimento, seja de ordem genética ou em relação às modificações ambientais e condições de cultivo, a que as mesmas estão sujeitas (BENINCASA, 2003).

Radford (1967) afirma que a análise de crescimento é realizada por meio de índices fisiológicos e entre eles a razão de área foliar (RAF), a área foliar específica (AFE), a taxa assimilatória líquida (TAL), taxa de crescimento relativo (TCR) e razão de massa foliar (RMF). A análise de crescimento baseia-se no fato de que cerca de 90% da matéria seca acumulada pelas plantas, ao longo do crescimento, resulta de sua atividade fotossintética e o restante da absorção de nutrientes minerais, indispensáveis ao desenvolvimento vegetal (MAGALHÃES, 1986; PORTES & CASTRO JÚNIOR, 1991; BENINCASA, 2003).

Vários pesquisadores têm se dedicado à análise quantitativa do crescimento, destacando-se os trabalhos de Watson (1952), Blackman (1968), Kvet et al. (1971), Evans (1972), Boaro et al. (1996), David et al. (2009), pois os índices fisiológicos são considerados ferramentas eficientes para avaliar o crescimento inicial de plantas (LIMA et al. 2007).

De acordo com Silva et al. (2000) a razão de área foliar (RAF) é o índice fisiológico que expressa a área foliar para a fotossíntese, sendo um componente morfofisiológico da análise de crescimento. Embora este parâmetro da RAF seja relativamente sensível às mudanças ambientais, os incrementos na RAF são conseqüências do incremento da AFE, já que os valores da AFE são mais sensíveis às

alterações da irradiância (LAMBERS & POORTER, 1992). Rodrigues (1982) afirma que a RAF é bastante apropriada à avaliação dos efeitos genotípicos, climáticos e de comunidades vegetais com tendência a queda, e à medida que a planta cresce a tendência é a área foliar útil diminuir, a partir de certa fase.

A área foliar específica reflete o inverso da espessura da folha (Radford 1967, Magalhães 1986, Benincasa 2003). Segundo Ferreira (1996) e Benincasa (2003) no início do desenvolvimento os valores da AFE podem ser maiores, revelando folhas pouco espessas, com pouca massa seca e área foliar, assim o desenvolvimento da cultura aumenta a área foliar e a massa seca das folhas, tendendo a queda dessa variável. Pinzón-Torres & Schiavinato (2008) afirmam que alguns autores apontam a AFE como o parâmetro que melhor explicaria as diferenças na TCR, entre espécies vegetais.

A taxa de crescimento relativo (TCR) reflete o aumento da matéria orgânica seca, de uma planta ou de qualquer órgão desta, num intervalo de tempo, sendo função do tamanho inicial, ou seja, de material preexistente (Benincasa, 2003). De acordo com Poorter (1989) e Meziane & Shipley (1999) diferenças na taxa de crescimento relativo (TCR) dentre as espécies, mesmo cultivadas em idênticas condições ambientais influencia a dinâmica e a estrutura entre as espécies e pode estar associada com a taxa de assimilação líquida (TAL), no sentido de relacionar a taxa fotossintética à quantidade de área foliar disponível para a interceptação de luz e à alocação da biomassa foliar (LAMBERS et al., 1998).

A taxa de assimilação líquida (TAL) é o resultado da interação das variações dos fatores ambientais (luz, CO₂, temperatura, disponibilidade de água e nutrientes, idade das folhas, etc.) com as diferenças específicas de cada espécie, segundo seu genótipo (LAMBERS et al., 1998; SILVA et al., 2000). A TAL reflete a eficiência do sistema assimilador que está envolvido na produção de matéria seca, estimando, dessa forma, a fotossíntese líquida (RADFORD, 1967). Variabilidade genética que as espécies silvestres apresentam em seu material genético (Larscher, 2000), condições climáticas (Alvarez et al., 2005) e níveis nutricionais empregados (Watson, 1952; Xavier, 1976) são as explicações mais plausíveis para este índice.

2.7. ANÁLISE FOLIAR

Para a nutrição adequada das plantas, além da quantidade e da relação entre nutrientes, é preciso conhecer os padrões normais de acúmulo de elementos na massa seca e dos nutrientes ao longo do tempo de cultivo (WESTON & ZANDSTRA, 1986; BARBOSA FILHO, 1987; FRANCO, 2006). Além do que, o conhecimento da marcha de absorção e do acúmulo de nutrientes nas diferentes fases de desenvolvimento da planta é importante, porque permite determinar em qual período de cultivo os elementos são mais exigidos, além de fornecer informações de grande importância para determinação ou composição de substrato e um plano de manejo da fertirrigação e adubação (MARTINEZ, 2002;

BARBOSA et al., 2003; FRANCO & PRADO, 2006; FRANCO & PRADO, 2008; FRANCO et al., 2008).

O emprego da análise foliar como diagnose do estado nutricional de plantas baseia-se na premissa fundamental da existência de correlações significativas entre teores de nutrientes determinados nas amostras e o crescimento ou os componentes de produção da cultura (HAAG et al., 1979; BARROS, 1982; BATAGLIA et al., 1983; MALAVOLTA et al., 1997; BRIZOLA et al., 2005). Os órgãos da planta geralmente empregados para fim de análise são as folhas, onde os centros metabólicos são mais intensos e as alterações fisiológicas em razão de distúrbios nutricionais tornam-se mais evidentes (PROEBSTING & WARNER, 1954, HAAG et al. 1979, BARROS, 1982, MALAVOLTA et al. 1997).

Vários trabalhos descritos na literatura relatam o acúmulo dos considerados macro e micronutrientes em plantas jovens das principais espécies comerciais anonáceas (AVILÁN, 1975; SILVA et al., 1986; CARDOSO et al., 1989; REGO et al., 1992; GAZEL FILHO et al., 1997; SÃO JOSÉ et al., 1997; BATISTA et al., 2003; PINTO et al., 2005).

Barbosa et al. (2003) trabalhando com plantas jovens de *Annona muricata* L. (graviroleira) cultivadas em solo afirmam que absorção de nutrientes acompanhou a produção de matéria seca e apresentou a seguinte ordem decrescente para os macronutrientes na análise foliar: K,N,Ca,Mg,P e para os micronutrientes Fe,Zn,Mn,Cu. Estes mesmos autores afirmam que as plantas jovens de graviroleira apresentaram períodos diferentes de intensidade de absorção de nutrientes, com alta taxa para Mn, constante para N e baixa para os demais nutrientes em relação a quantidade total absorvida ao longo do tempo.

Já Gazel filho et al. (1997), Chu et al. (2001) e Soares et al. (2007) afirmam que os nutrientes mais acumulados na parte aérea das mudas de graviroleira seguem a seguinte ordem decrescente para os macronutrientes N, K, Ca, P, S e Mg e, para os micronutrientes Mn, Zn, Fe e Cu. Scaloppi (2007) trabalhando com estacas caulinares com um ano de idade, pertencentes à família das anonáceas, tais como *Rollinia mucosa*, *Annona glabra*, *Rollinia emarginata* e *Rollinia silvatica* afirma que o acúmulo dos nutrientes na parte aérea segue a seguinte ordem decrescente: N, K, Ca, Mg, P e S.

3. Capítulo I

**TROCAS GASOSAS, ÍNDICES FISIOLÓGICOS E ACÚMULO IÔNICO EM
PLANTAS JOVENS DE *Annona emarginata* (SCHLTDL.) H. RAINER EM FUNÇÃO
DE VARIAÇÕES DA FORÇA-IÔNICA AO LONGO DO TEMPO¹**

¹ Artigo nas normas da revista Scientia Horticulturae

**TROCAS GASOSAS, ÍNDICES FISIOLÓGICOS E ACÚMULO IÔNICO EM
PLANTAS JOVENS DE *Annona emarginata* (SCHLTDL.) H. RAINER EM FUNÇÃO
DE VARIAÇÕES DA FORÇA-IÔNICA AO LONGO DO TEMPO**

Daniel Baron^a, Gisela Ferreira^{a,b,*}, C.S.F. Boaro^{a,b}, J.D. Rodrigues^{a,b}, A.C. Macedo^b, M.M. Mischan^c

^aDepartamento de Botânica, Instituto de Biociências (IB), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” campus de Botucatu. Caixa postal: 510.

^bDepartamento de Horticultura, Faculdade de Ciências Agrônomicas (FCA), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” campus de Botucatu. Caixa postal: 237.

^cDepartamento de Bioestatística, Instituto de Biociências (IB), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” campus de Botucatu. Caixa postal: 510.

Resumo: O uso do araticum-de-terra-fria (*Annona emarginata* (SCHLTDL.) H. Rainer) tem se mostrado boa alternativa para a produção de portaenxerto para as principais espécies comerciais de anonáceas, como a atemóia, pinha e cherimóia, porém não existem relatos na literatura sobre as respostas fisiológicas desta espécie em diferentes níveis nutricionais. As trocas gasosas (taxa de assimilação de carbono, condutância estomática, concentração de carbono interno na câmara subestomática, taxa transpiratória, eficiência do uso da água, eficiência de carboxilação da enzima Rubisco), as variáveis de desenvolvimento (diâmetro, número de folhas, altura, massa de matéria seca), índices fisiológicos (razão de área foliar, área foliar específica, taxa de crescimento relativo, taxa de assimilação líquida, razão de massa foliar) e acúmulo iônico foram investigados em plantas jovens de araticum-de-terra-fria cultivadas com diferentes forças-iônicas (25%, 50%, 75% e 100%) da solução nutritiva completa nº2 de Hoagland & Arnon (1950) por 140 dias. As plantas cultivadas em 50% foram as que apresentaram os maiores valores para os parâmetros da fotossíntese, crescimento vegetal, índices fisiológicos e acúmulo de macronutrientes na massa de matéria seca total da planta. Nós concluímos que as plantas cultivadas em 50% de força-iônica expressam melhor seu potencial genético em resposta às diferentes forças-iônicas utilizadas.

Palavras-chave: Araticum-de-terra-fria; hidroponia; solução nutritiva; fotossíntese; acúmulo iônico.

* Autor correspondente. Tel.: +55 14 3811 6265

E-mail: gisela@ibb.unesp.br

**GAS EXCHANGE, PHYSIOLOGICAL INDEXES AND IONIC ACCUMULATION IN
Annona emarginata (Schltdl.) H. Rainer SEEDLINGS UNDER IONIC STRENGTH
VARIATION OVER TIME**

Daniel Baron^a, Gisela Ferreira^{a,b,*}, C.S.F. Boaro^{a,b}, J.D. Rodrigues^{a,b}, A.C. Macedo^b, M.M. Mischan^c

^aDepartment of Botany, Institute of Biosciences (IB), São Paulo State University “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu Campus. P.O. Box: 510.

^bDepartment of Horticulture, School of Agronomical Sciences (FCA), São Paulo State University “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu Campus. P.O. Box: 237.

^cDepartment of Biostatistics, Institute of Biosciences (IB), São Paulo State University “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu Campus. P.O. Box: 510.

Abstract: The use of “araticum-de-terra-fria” (*Annona emarginata* (Schltdl.) H. Rainer) has proved to be a good alternative in rootstock production for the main commercial Annonaceae species, such as atemoya, sweetsop and cherimoya. However, there are no reports in the literature on the physiological responses of this species at different nutritional levels. Gas exchange (CO₂ assimilation rate, stomatal conductance, internal CO₂ concentration in the substomatal cavity, transpiration rate, water use efficiency, Rubisco carboxylation efficiency), development (diameter, leaf number, height, dry matter), physiological indexes (leaf area ratio, specific leaf area, relative growth rate, net assimilation rate, leaf weight ratio) and ionic accumulation were investigated for “araticum-de-terra-fria” seedlings grown under different ionic strengths (25, 50, 75 and 100%) of complete nutrient solution no.2 of Hoagland & Arnon (1950) for 140 days. Plants grown under 50% strength showed the highest values of photosynthetic parameters, growth, physiological indexes and macronutrient accumulation in the total dry matter. Thus, plants grown under 50% ionic strength better expressed their genetic potential in response to the different ionic strengths used.

keywords: “Araticum-de-terra-fria”, hydroponics, nutrient solution, photosynthesis, ionic accumulation.

* Corresponding author: Phone: +55 14 3811 6265;

E-mail address: agroozzy@yahoo.com.br

1. Introdução

Sabe-se que para a produção de mudas de qualidade é necessário portaenxerto compatível com a copa, resistente ou tolerante a patógenos (Kavati, 1992; Tokunaga, 2005) além de ser necessário conhecer os padrões normais de nutrientes na massa seca de folhas ao longo do tempo de cultivo, o que fornece informações de grande importância para um plano de manejo nutricional (Marschner, 1995; Martinez, 2002; Barbosa et al., 2003; Franco & Prado, 2008; Franco et al., 2008) visando atender a demanda de nutrientes (Franco & Prado, 2006) a fim de garantir as vantagens da propagação clonal e conseqüentemente à produtividade

Para tanto, a espécie *Annona emarginata* (SCHLTDL.) H. Rainer (araticum-de-terra-fria) (Rainer, 2007) tem sido avaliada com sucesso, mas de modo empírico, como alternativa para a produção de mudas de atemóia, fruta-do-conde e cherimóia (Kavati, 1998; Bonaventure, 1999; Tokunaga, 2005). No entanto, como se trata de espécie nativa ainda pouco estudada há necessidade de avaliar seu comportamento fisiológico, principalmente na fase inicial do desenvolvimento, a fim de fornecer subsídios para incremento seguro da produção de mudas de qualidade, com o intuito de garantir a crescente demanda do mercado internacional de frutas da família botânica Annonaceae (Vargas Ramos, 1992; Bettiol Neto et al., 2006; Nogueira et al., 2007).

Padrões fotossintéticos e de desenvolvimento são afetados por variações de disponibilidade de elementos minerais (Larcher, 2000) por efeito direto dos elementos minerais nas diversas etapas metabólicas (Marschner, 1995; Epstein & Bloom, 2006), porém, nossa revisão de literatura não encontrou explicações de como estes mecanismos se estabelecem para o araticum-de-terra-fria. Além do que soluções nutritivas vêm sendo amplamente usadas em estudos de fisiologia vegetal, especialmente relacionados aos mecanismos que coordenam o crescimento das plantas (Parker & Norvell, 1999; Resh, 2001), porém diversas soluções nutritivas já foram propostas e em alguns casos, há diferenças marcantes e excessivas na concentração de macro e micronutrientes empregados (Sarruge, 1975; Malavolta, 1980; Castellane & Araujo, 1995; Teixeira, 1996; Martinez, 1997; Furlani et al., 1999; Lopes et al., 2003; Cuzzuol et al., 2005; Franco et al., 2008; Helbel Junior et al., 2008).

Neste contexto, avaliar a produtividade primária em plantas jovens sob diferentes disponibilidades dos elementos minerais em solução nutritiva auxiliará no conhecimento da expressão de seu potencial genético e também permitirá a compreensão do efeito do fornecimento de diferentes níveis de elementos minerais nas trocas gasosas, acúmulo de íons e no desenvolvimento vegetativo, sendo, portanto estes os objetivos da investigação no presente estudo.

2. Material e Métodos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação no período de julho de 2008 a fevereiro de 2009 no Departamento de Botânica pertencente ao Instituto de Biociências (IB), da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), câmpus Botucatu-SP, Brasil.

2.1. Material vegetal

As sementes de araticum-de-terra-fria (*Annona emarginata* (Schltdl.) H. Rainer) foram submetidas em tratamento fitossanitário com hipoclorito (1%) e fungicida N-triclorometil - 4 - ciclo-hexeno-1,2-dicarboximida (produto comercial CAPTAN[®]) a 0,2% de principio ativo. Após o tratamento fitossanitário a semeadura foi realizada em bandejas de poliestireno preenchidas com vermiculita expandida. Quando as plantas jovens apresentarem tamanho médio entre 7 a 10 cm

(altura) foram transplantadas para potes com volume de aproximadamente 1.5 litros e preenchidas com solução nutritiva arejada ininterruptamente.

2.2. Tratamentos

Os tratamentos foram constituídos pela variação da concentração iônica (forças-iônicas) da solução nutritiva completa nº2 de Hoagland & Arnon (1950), a partir da diluição da solução completa em água desmineralizada a 25% ao que denominou-se 25%FI (CEa de 0.50 ± 0.2 mS cm^{-1}) e assim sucessivamente, obtendo-se 50%FI (CEa de 1.00 ± 0.2 mS cm^{-1}); 75%FI - (CEa de 1.5 ± 0.02 mS cm^{-1}); 100%FI (CEa de 2.0 ± 0.02 mS cm^{-1}) (testemunha). O volume dos sais P.A. (puro para análise) utilizados como fontes de macronutrientes ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$, KNO_3 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ e $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) foram 0.25, 1.50, 1.0 e 0.5 ml L^{-1} , respectivamente, no tratamento 25%FI; 0.5, 3.0, 2.0 e 1.0 ml L^{-1} no tratamento 50%FI; 0.75, 4.50, 3.0 e 1.50 ml L^{-1} no tratamento 75%FI e 1.0, 6.0, 4.0 e 2.0 ml L^{-1} no tratamento controle 100%FI. Para as fontes de micronutrientes (H_3BO_3 ; $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$; $\text{H}_2\text{MoO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$; Fe-E.D.T.A. e $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) foram utilizados 0.25 ml L^{-1} de cada sal no tratamento 25%FI; 0.50 ml L^{-1} no tratamento 50%FI; 75 ml L^{-1} no tratamento 75%FI e 1 ml L^{-1} no tratamento 100%FI.

Tabela 1. Composição nutricional basal das diferentes forças-iônicas da solução nutritiva completa nº2 de Hoagland & Arnon (1950) empregadas no cultivo de plantas jovens de araticum-de-terra-fria.

Compostos utilizados	Solução Estoque (g L^{-1})	Tratamentos			
		25%FI (mM L^{-1})	50%FI (mM L^{-1})	75%FI (mM L^{-1})	100%FI (mM L^{-1})
Macronutrientes ⁽¹⁾					
$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ (M)	115.0	0.119	0.237	0.474	0.633
KNO_3 (M)	101.1	0.840	1.680	2.52	3.36
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (M)	236.1	0.974	1.948	3.896	5.194
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (M)	246.5	0.508	1.017	2.034	2.712
Micronutrientes ⁽¹⁾					
		25%FI ($\mu\text{M L}^{-1}$)	50%FI ($\mu\text{M L}^{-1}$)	75%FI ($\mu\text{M L}^{-1}$)	100%FI ($\mu\text{M L}^{-1}$)
H_3BO_3	2.86	2.949	5.899	11.798	15.730
$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	1.81	1.856	3.713	7.425	9.9
$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.22	0.227	0.454	0.908	1.2
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0.08	0.083	0.165	0.330	0.440
$\text{H}_2\text{MoO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	0.02	0.021	0.041	0.083	0.110
Solução Fe ⁽²⁾					
		25%FI (mM L^{-1})	50%FI (mM L^{-1})	75%FI (mM L^{-1})	100%FI (mM L^{-1})
Fe-E.D.T.A.	26.1	0.027	0.054	0.108	0.144
$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	24.9	0.026	0.051	0.103	0.137

(M) = Molar; ⁽¹⁾ = diluição em água destilada e volume completado a 1 litro; ⁽²⁾ = Diluição em 700 mL de água destilada contendo 268 mL de NaOH (40g/L) e volume completado a 1 litro.

A condutividade elétrica (EC) da solução nutritiva foi monitorada diariamente através condutivímetro de bancada da marca DIGIMED[®] modelo CD-21, assim como o p.H., ajustado diariamente a 6.0 ± 0.5 com o auxílio de peagâmetro de bancada da marca DIGIMED[®] modelo DMPH-3. A solução nutritiva era renovada semanalmente ou quando os intervalos de segurança na solução nutritiva para cada tratamento alteravam-se (± 0.2 mS cm^{-1} do valor original empregado em cada tratamento), além da utilização de água desmineralizada para reposição da água evapotranspirada.

2.3. *Tratos culturais*

O controle de pragas em plantas de araticum-de-terra-fria foi realizado por meio da catação manual (cochonilhas) e também pela utilização da “calda de fumo” conhecido como inseticida natural que não representa nenhum risco ao ambiente.

2.4. *Mensuração do crescimento vegetal*

Foram mensurados aos 28, 56, 84, 112 e 140 DAT os dados de diâmetro do caule em mm com paquímetro digital ($\pm 0.01\text{mm}$) da marca Calyper®, altura com régua graduada em cm, número de folhas em unidades. Todo o material vegetal foi lavado em água desmineralizada e seco em estufa com circulação forçada de ar à temperatura de 65°C , até peso constante para obtenção da massa de matéria seca de folha, caule, raiz e total em gramas, mensurada com auxílio de balança analítica Ohaus® tipo Analytical Standard com sensibilidade de até 0.001g . O material foliar foi armazenado e encaminhado para as determinações químicas dos teores minerais em laboratório especializado e credenciado.

2.5. *Mensuração da análise de crescimento*

Para o cálculo das variáveis da análise de crescimento das plântulas de araticum-de-terra-fria foram realizadas coletas aos 28, 56, 84, 112 e 140 DAT utilizando-se 5 plantas (repetições) por tratamento em cada época de avaliação. As plântulas foram divididas em folha, caule, raiz, e a área foliar foi mensurada utilizando-se um aparelho integralizador óptico (Li 3100, LI-COR, Lincoln, Nebraska - USA), e seus resultados expressos em decímetros quadrados (dm^2). Pela determinação da área foliar e da massa de matéria seca total e de folhas a cada 28 dias até o período final do experimento (140 DAT), determinaram-se os índices fisiológicos RAF, AFE, TAL, TCR e RMF por meio de suas respectivas fórmulas matemáticas, de acordo com a recomendação de vários textos dedicados à análise de crescimento funcional (Radford 1967; Hunt 1982; Magalhães 1986; Portes & Castro Júnior 1991, Benincasa, 2003). Os índices fisiológicos TCR e TAL foram calculados resolvendo-se as integrais através de métodos numéricos em cada repetição de todos os tratamentos, através do programa computacional estatístico SAS (SAS Institute, Cary, NC).

Nos cálculos de TCR, em $\text{g g}^{-1}\text{dia}^{-1}$, admite-se que novo crescimento é simplesmente uma função da matéria seca existente e esta taxa é uma função do tamanho inicial, isto é, o aumento em gramas (Radford 1967; Magalhães 1986; Portes & Castro Júnior 1991; Benincasa 2003) e foi calculado pela equação:

$$\text{TCR} = 1/(\text{MST}) \cdot \text{dMST}/\text{dt}$$

Onde: $\text{d}/\text{dt} = (\log \text{MST})$; MST representa a massa de matéria seca total

A TAL, em $\text{g dm}^{-2}\text{dia}^{-1}$, expressa a taxa de fotossíntese líquida, em termos de massa seca produzida, em gramas, por decímetro quadrado de área foliar, por unidade de tempo (Radford 1967, Magalhães 1986, Portes & Castro Júnior 1991, Benincasa 2003). A equação a ser utilizada segue a recomendada por (Radford 1967):

$$\text{TAL} = 1/(\text{AF}) \cdot \text{dMST}/\text{dt}$$

Onde: $\text{d}/\text{dt} = (\log \text{MST})$; MST representa a massa de matéria seca total

A razão de área foliar (RAF), em $\text{dm}^2 \text{g}^{-1}$, expressa a área foliar útil para a fotossíntese (Radford 1967, Magalhães 1986, Benincasa 2003) e foi obtida a partir dos valores instantâneos de

área foliar (AF), responsável pela interceptação de energia luminosa e CO₂, e massa seca total (MST), resultado da fotossíntese. RAF é considerada como uma medida da capacidade fotossintética de uma planta (Fitter & Hay 1981), segundo a equação:

$$\mathbf{RAF = AF/MST}$$

A área foliar específica, em dm² g⁻¹, reflete o inverso da espessura da folha (Radford 1967, Magalhães 1986, Benincasa 2003) e foi obtida pela razão entre a área foliar (AF) e a massa seca de folhas (MSF).

$$\mathbf{AFE = AF/MSF}$$

A razão de massa foliar (RMF) é expressa em g/g, definida como a relação entre a matéria seca de folha (MSF) e matéria seca da planta (MST), conforme Magalhães (1986), calculado pela equação:

$$\mathbf{RMF = MSF/MST}$$

Detalhes da utilização prática dos índices fisiológicos mencionados podem ser encontrados mais detalhadamente no trabalho de (Radford 1967; Magalhães 1986; Benincasa 2003).

2.6. Mensuração das Trocas gasosas foliares

A avaliação das trocas gasosas foi realizada utilizando-se equipamento de sistema aberto de fotossíntese e transpiração com analisador de CO₂ e vapor d'água por radiação infra-vermelha (LI-6400, LI-COR, Lincoln, NE, USA). Essas medidas foram realizadas no período das 9:00 às 11:00h em dia ensolarado. As medidas foram realizadas aos 63, 98 e 126 DAT, selecionando-se 5 plantas (repetições) por tratamento, nas quais foram escolhidas e padronizadas as 2^a ou 3^a folhas completamente expandidas. As características de trocas gasosas analisadas foram: taxa de assimilação de CO₂ (A_{net} , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$), condutância estomática (g_s , $\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) e taxa de transpiração (E , $\text{mmol vapor d'água m}^{-2}\text{s}^{-1}$), adotando-se 1700 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (PAR) de luminosidade. A eficiência do uso da água (WUE , $\mu\text{mol CO}_2 (\text{mmol H}_2\text{O})^{-1}$) foi determinada através da relação entre assimilação de CO₂ e taxa de transpiração (A_{net}/E), descrita por (Berry & Downton, 1982) e a eficiência instantânea de carboxilação (A_{net}/C_i) determinada através da metodologia descrita por Von caemmerer & Farquhar (1981).

2.7. Determinação da nutricional foliar

A determinação dos teores dos nutrientes nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) presentes nas folhas aos 28, 56, 112 e 140 DAT foram realizadas de acordo com a metodologia descrita por (Malavolta et al., 1997) realizada no Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas do Departamento de Recursos Naturais/Ciências do Solo da Faculdade de Ciências Agrônômicas - (FCA), Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP)/Campus de Botucatu-SP. A partir destes resultados foram efetuados cálculos de adequação de unidades, ou seja, conversão de g kg⁻¹ para g planta⁻¹, para cada elemento mineral acumulado no vegetal.

2.8. Delineamento experimental e análise estatística

As plantas foram conduzidas e distribuídas em blocos ao acaso com quatro tratamentos compostos por cinco repetições, sendo cada repetição composta por 1 planta. Foram realizadas

cinco coletas de dados para mensuração do crescimento vegetal e para os cálculos dos índices fisiológicos da análise de crescimento, 3 coletas de dados para as trocas gasosas foliares e 4 coletas de dados para a análise foliar de nutrientes. Os dados das variáveis do crescimento vegetal submetidos a análise de variância (ANAVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($P \leq 0.05$). As análises estatísticas foram executadas utilizando o programa SAS, version 9.0 (SAS, 2002).

3. Resultados

Os dados climatológicos registrados ao longo do tempo de cultivo de plantas jovens de araticum-de-terra-fria em casa de vegetação estão apresentados na figura 1.

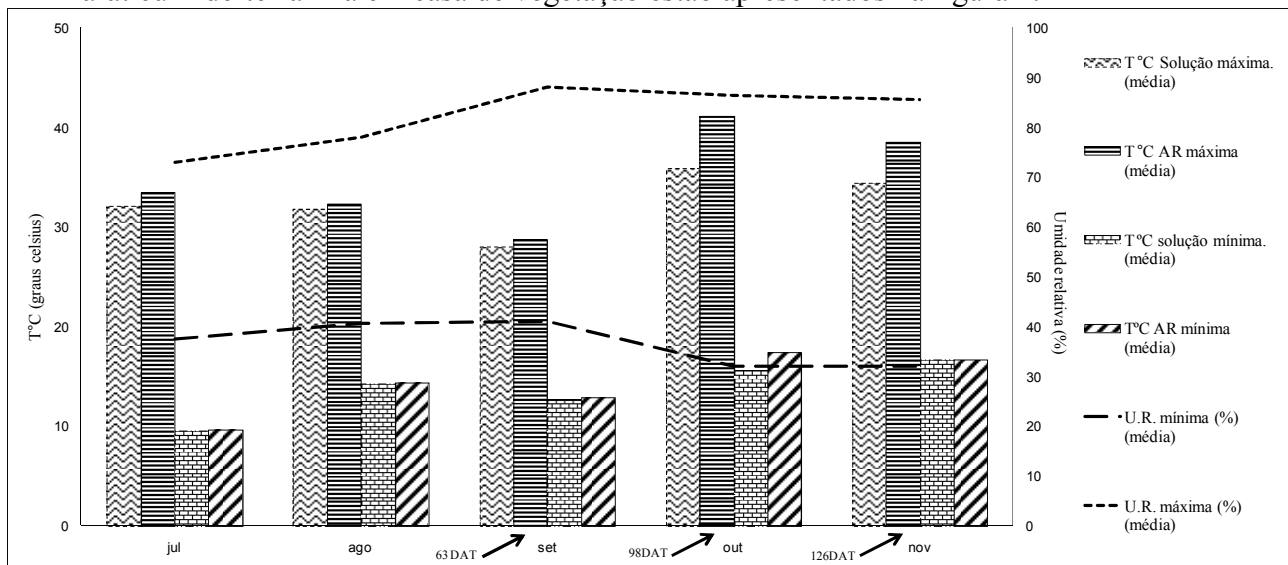


Figura 1. Dados ambientais em casa de vegetação registrados ao longo do tempo de cultivo de plantas jovens de araticum-de-terra-fria em diferentes forças iônicas da solução nutritiva completa nº2 de Hoagland & Arnon (1950). Setas indicam as datas em que foram realizadas as trocas gasosas foliares. DAT (Dias após o transplantio).

3.1. Crescimento vegetal

As plantas jovens de araticum-de-terra-fria cultivadas em diferentes forças-iônicas da solução nutritiva completa nº2 de Hoagland & Arnon (1950) apresentaram diferenças significativas no crescimento ao longo do tempo, principalmente a partir de 112 DAT, com diferenças significativas entre os tratamentos, sempre com valores menores para as plantas cultivadas em 25% FI.

Desta maneira, para o diâmetro, altura, área foliar, massa de matéria seca de folha, caule e total foram observadas diferenças significativas a partir dos 112 DAT, sendo as plantas cultivadas em 50% as que apresentaram sempre os maiores valores quando comparados aos valores obtidos com plantas cultivadas em 25%, embora sem diferir das plantas cultivadas em 75% e 100% aos 112 e 140 DAT. Porém exceção é feita às plantas cultivadas em 100%FI em que a variável massa de matéria seca total, aos 112 DAT, foi reduzida (tabela 2).

Quanto ao número de folhas, verifica-se que também a partir de 112 DAT as plantas cultivadas em 25%FI apresentaram os menores valores em comparação aos demais tratamentos, que não diferiram significativamente entre si (tabela 2). No entanto, para a massa de matéria seca de raiz, as diferenças significativas só foram observadas aos 140 DAT, com os maiores valores encontrados em plantas cultivadas em 50%FI, diferindo significativamente de 25%FI.

Tabela 2. Crescimento vegetal de plantas jovens de araticum-de-terra-fria cultivadas em diferentes forças-iônicas da solução nutritiva completa nº2 de Hoagland & Arnon (1950) ao longo do tempo. Dados são média \pm S.E. e os valores foram determinados com cinco plantas por tratamento ($n=5$) em 5 diferentes épocas de avaliação. Letras maiúsculas iguais em cada linha e letras iguais minúsculas em cada coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% ($P \leq 0.05$). DAT, dias após o transplante.

Número de folhas (unidades)					Diâmetro (mm)			
Trat/ Dat	25%FI	50%FI	75%FI	100%FI	25%FI	50%FI	75%FI	100%FI
28	4.8 \pm 0.8Ac	6.0 \pm 0Ac	5.6 \pm 0.6Ac	5.4 \pm 0.3Ab	2.1 \pm 0.05Ad	2.3 \pm 0.03Ac	2.2 \pm 0.07Ad	2.18 \pm 0.03Ad
56	9.2 \pm 0.8Bbc	14.6 \pm 1.6Abc	10 \pm 1.2Bbc	9.4 \pm 1Bb	2.9 \pm 0.03Ac	3.1 \pm 0.08Abc	3.1 \pm 0.01Ac	3.08 \pm 0.14Ac
84	12.8 \pm 2.9Bb	15.6 \pm 3.7ABb	16 \pm 1.3Ab	15 \pm 1ABb	3.3 \pm 0.07Abc	3.9 \pm 0.2Ab	3.7 \pm 0.25Ac	3.60 \pm 0.17Ac
112	20.4 \pm 0.8Ba	28.4 \pm 3Aa	28 \pm 3.7Aa	27.6 \pm 3.6Aa	3.7 \pm 0.26Bb	5.2 \pm 0.41Aa	4.9 \pm 0.24Ab	4.82 \pm 0.3Ab
140	24.4 \pm 2.4Ba	28.6 \pm 1.7Aa	29.2 \pm 1.9Aa	28.4 \pm 4.4Aa	5.466 Ba	6.058 Aa	5.984 Aa	5.952 Aa
Altura (cm)					Massa de matéria seca de caule (g)			
Trat/ Dat	25%FI	50%FI	75%FI	100%FI	25%FI	50%FI	75%FI	100%FI
28	7.08 \pm 0.3Ab	8.3 \pm 0.9Ad	8.20 \pm 0.2Ad	7.50 \pm 0.3Ac	0.17 \pm 0.04Aa	0.19 \pm 0.02Ab	0.19 \pm 0.03Ab	0.19 \pm 0.02Ab
56	14 \pm 1.2Aa	13.9 \pm 1.03Ac	13.42 \pm 0.9Ac	13.18 \pm 0.9Ab	0.19 \pm 0.03Aa	0.21 \pm 0.04Ab	0.19 \pm 0.02Ab	0.19 \pm 0.03Ab
84	15.6 \pm 2.1Aa	19 \pm 1.2Ab	18.66 \pm 0.6Ab	17.98 \pm 1.2Aab	0.3 \pm 0.05Aab	0.32 \pm 0.04Ab	0.32 \pm 0.03Ab	0.32 \pm 0.02Ab
112	18.46 \pm 1.9Ba	24.7 \pm 1Aa	22.50 \pm 0.7ABa	20.32 \pm 1.4ABa	0.4 \pm 0.05Bb	0.71 \pm 0.04Aa	0.65 \pm 0.06Aa	0.36 \pm 0.04Ab
140	18.60 \pm 1.9Ba	25.4 \pm 1.8Aa	25.04 \pm 1.4ABa	21.36 \pm 1.9ABa	0.44 \pm 0.08Bb	0.8 \pm 0.13Aa	0.66 \pm 0.08ABa	0.60 \pm 0.13Aa
Área foliar (cm ²)					Massa de matéria seca de raiz (g)			
Trat/ Dat	25%FI	50%FI	75%FI	100%FI	25%FI	50%FI	75%FI	100%FI
28	16 \pm 0.43Ac	16.3 \pm 1.32Ac	16 \pm 0.79Ac	16.1 \pm 1.16Ac	0.24 \pm 0.03Aa	0.25 \pm 0.03Ab	0.25 \pm 0.05Ab	0.25 \pm 0.03Ab
56	33.9 \pm 6.7Abc	37.5 \pm 3.81Ac	35.9 \pm 3.01Ac	35.7 \pm 8.23Abc	0.26 \pm 0.03Aa	0.3 \pm 0.03Ab	0.30 \pm 0.05Ab	0.27 \pm 0.02Ab
84	58.8 \pm 10.3Aab	61.4 \pm 3.4Abc	71.9 \pm 2.8Ab	70.7 \pm 10Aab	0.31 \pm 0.04Aa	0.33 \pm 0.03Ab	0.33 \pm 0.04Ab	0.32 \pm 0.05Ab
112	81.6 \pm 3.5Ba	121 \pm 10Aab	107 \pm 5.5Aa	105.9 \pm 6.5Aba	0.42 \pm 0.12Aa	0.83 \pm 0.03Aa	0.75 \pm 0.03Aa	0.66 \pm 0.04Aa
140	90.2 \pm 3.45Ba	158.2 \pm 10Aa	112.8 \pm 5.5ABa	110.4 \pm 6.5ABa	0.43 \pm 0.05Ba	0.85 \pm 0.14Aa	0.79 \pm 0.06ABa	0.63 \pm 0.12ABa
Massa de matéria seca de folha (g)					Massa de matéria seca total (g)			
Trat/ Dat	25%FI	50%FI	75%FI	100%FI	25%FI	50%FI	75%FI	100%FI
28	0.21 \pm 0.03Aa	0.22 \pm 0.02Ac	0.22 \pm 0.02Ab	0.21 \pm 0.02Ab	0.61 \pm 0.04Ab	0.67 \pm 0.03Ab	0.65 \pm 0.05Ac	0.64 \pm 0.05Ac
56	0.28 \pm 0.04Aa	0.29 \pm 0.03Abc	0.28 \pm 0.02Ab	0.29 \pm 0.05Ab	0.74 \pm 0.06Ab	0.79 \pm 0.08Ab	0.77 \pm 0.06Abc	0.75 \pm 0.06Ac
84	0.32 \pm 0.07Aa	0.35 \pm 0.06Abc	0.35 \pm 0.07Ab	0.33 \pm 0.06Ab	0.93 \pm 0.1Aab	1.02 \pm 0.1Ab	1.03 \pm 0.06Ac	0.98 \pm 0.09Ac
112	0.44 \pm 0.09Ba	1.01 \pm 0.35Aab	0.7 \pm 0.87Aa	0.69 \pm 0.83Aa	1.27 \pm 0.17Ca	2.41 \pm 0.06Aa	2.11 \pm 0.1Aa	1.71 \pm 0.06Bb
140	0.448 Ba	1.014 Aa	0.873 Aa	0.831 Aa	1.32 \pm 0.18Ba	2.6 \pm 0.56 Aa	2.23 \pm 0.14ABa	2.12 \pm 0.18ABa

3.2. Análise de crescimento.

A razão de área foliar (RAF) das plantas cultivadas nas diferentes forças-iônicas declinou ao longo do tempo de cultivo e não houve diferenças significativas entre os tratamentos empregados (figura 2 A e tabela 3). Em contraste, observamos que os valores da área foliar específica (AFE) aumentaram ao longo do tempo (figura 2 B), porém sem diferenças significativas, da mesma forma que a RAF (tabela 3).

Os tratamentos empregados provocaram redução na TCR das plantas mantidas em 50%, 75% e 100%FI ao longo do tempo, ao contrário daquelas cultivadas em 25%FI (figura 3 C). No entanto, em média, as plantas cultivadas em 50%FI foram as que apresentaram os maiores valores da TCR diferindo de 25%, mas não das plantas cultivadas em 75%FI e 100%FI (tabela 3).

Quanto à taxa de assimilação líquida (TAL), observa-se declínio ao longo do tempo de cultivo nas diferentes forças-iônicas empregadas, com os menores valores obtidos com o uso de 25%FI (figura 2 D), diferindo de 50%, mas ambos não diferindo de 75 e 100%. A razão de massa foliar (RMF) apresentou os maiores valores ao longo do tempo com o emprego de 100%FI e os menores com 25%FI (figura 2 E), porém não houve diferenças significativas entre os valores médios totais entre as diferentes forças-iônicas empregadas (tabela 3).

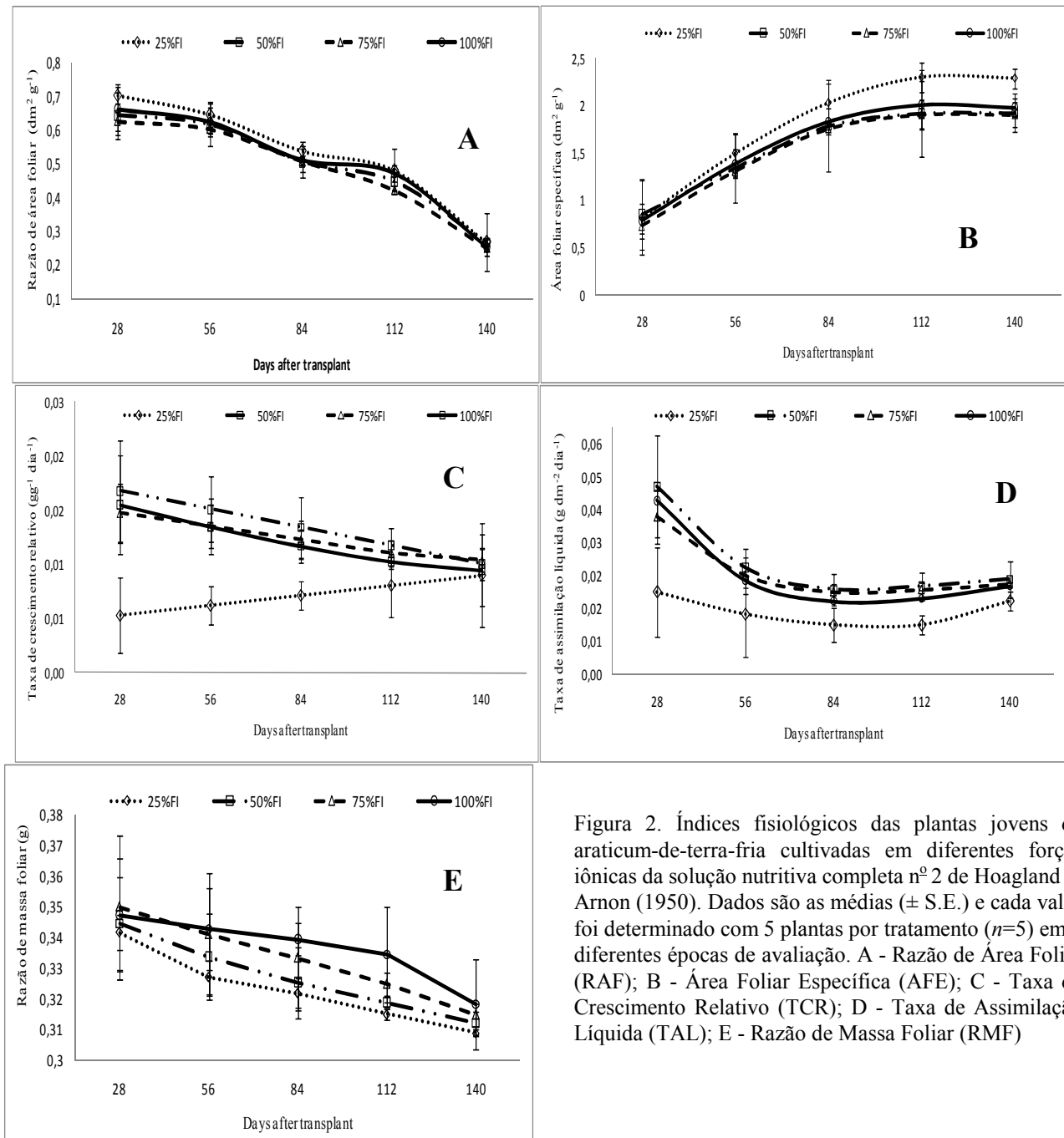


Figura 2. Índices fisiológicos das plantas jovens de araticum-de-terra-fria cultivadas em diferentes forças iônicas da solução nutritiva completa nº 2 de Hoagland & Arnon (1950). Dados são as médias (\pm S.E.) e cada valor foi determinado com 5 plantas por tratamento ($n=5$) em 5 diferentes épocas de avaliação. A - Razão de Área Foliar (RAF); B - Área Foliar Específica (AFE); C - Taxa de Crescimento Relativo (TCR); D - Taxa de Assimilação Líquida (TAL); E - Razão de Massa Foliar (RMF)

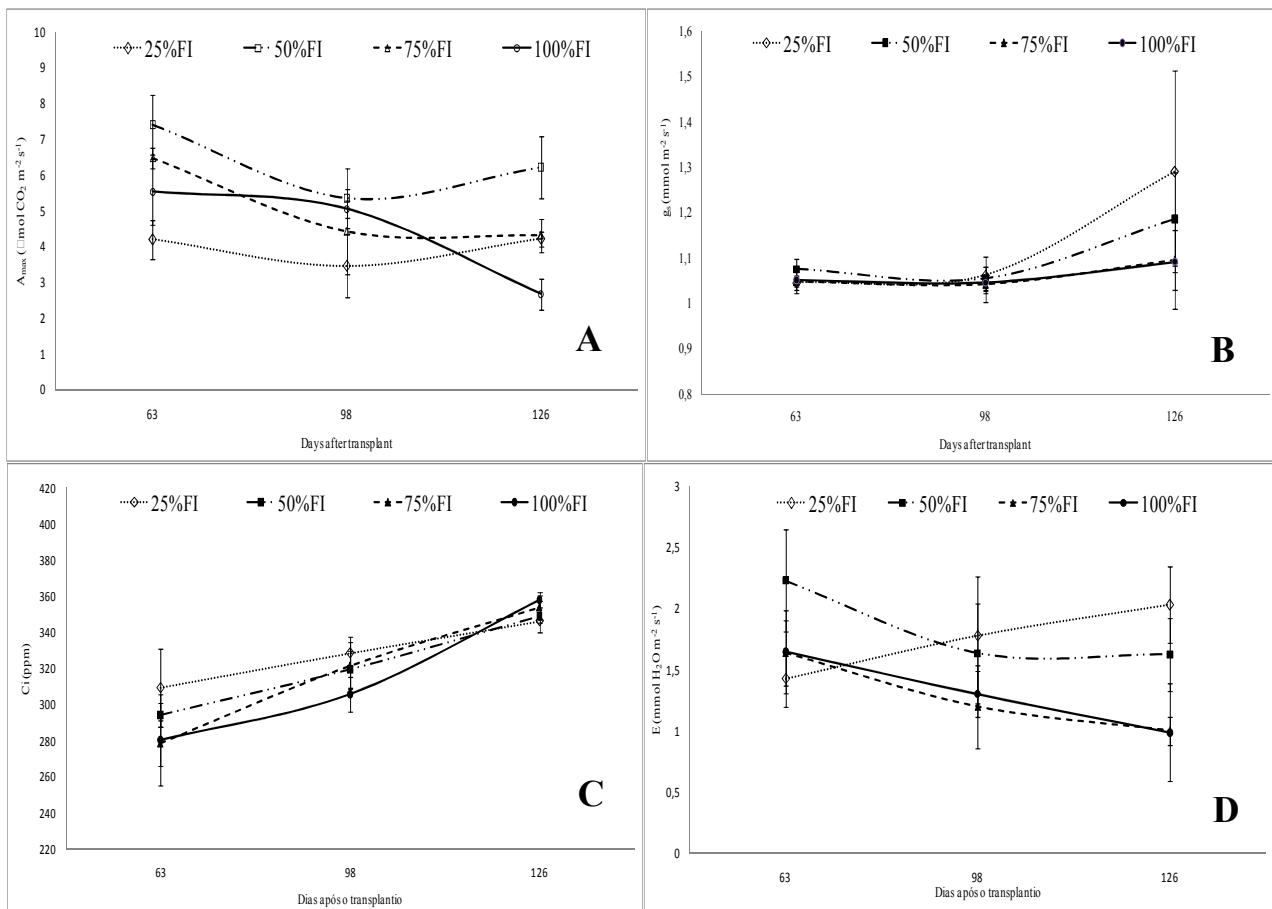
3.3. Trocas gasosas foliares

Com a manutenção das plantas em solução nutritiva com 25%FI observa-se baixas taxas de assimilação de carbono (A_{net}) e menor eficiência instantânea de carboxilação (A_{net}/C_i) (figura 4), o que aliado aos aumentos da transpiração, resultou em menor eficiência do uso da água (WUE). Cabe salientar que o aumento da condutância (g_s) a partir de 98DAT não refletiu em aumento da taxa de assimilação do carbono, além do que, ocorreu acúmulo de carbono interno (C_i) (Figura 3).

Tabela 3 - Médias dos valores apresentados pelos Índices Fisiológicos (RAF, AFE, TCR, TAL e RMF) de plantas de araticum-de-terra-fria cultivadas em diferentes forças-iônicas da solução nutritiva nº2 de Hoagland & Arnon (1950) ao longo do tempo de cultivo.

Tratamento / I.F.	RAF	AFE	TCR	TAL	RMF
25%FI	0.5272 ± 0.046a	1.7881 ± 0.21a	0.0072 ± 0.0029b	0.0153 ± 0.0060b	0.3228 ± 0.0038a
50%FI	0.4949 ± 0.044a	1.5680 ± 0.38a	0.0134 ± 0.0027a	0.0273 ± 0.0058a	0.3306 ± 0.0093a
75%FI	0.4822 ± 0.016a	1.5198 ± 0.09a	0.0124 ± 0.0017ab	0.0245 ± 0.0033ab	0.33718 ± 0.014a
100%FI	0.5040 ± 0.0405a	1.5988 ± 0.16a	0.0121 ± 0.0025ab	0.0246 ± 0.0139ab	0.3410 ± 0.0134a
<i>F</i>	0.72	0.32	6.53	4.48	0.22
<i>P</i> > <i>F</i>	0.5569	0.8128	0.0043	0.0182	0.879
<i>C.V.</i> (%)	11.47	19.44	21.58	25	10.78

Nas plantas cultivadas em 100%FI verificou-se redução da *E* (figura 3 D), enquanto a taxa de assimilação de CO₂ é estável até 98 DAT e decresce até os 126 DAT, da mesma forma que a eficiência instantânea de carboxilação (figura 3 F), o que resultou em acúmulo de CO₂ na folha (figura 3 C). Deste modo, mesmo com a redução da atividade da Rubisco, há maior *WUE* (figura 3 E) porque ocorreu redução da *E* ao longo do período. A taxa de assimilação de CO₂ das plantas mantidas em 50%FI foram maiores comparados às demais forças iônicas desde a primeira avaliação, mesmo com padrões de *g_s* próximos às de maior força-iônica até os 98 DAT. Observamos, porém, redução da taxa de assimilação de CO₂ e também redução da *A_{net}/C_i* até 98 DAT, o que resultou em acúmulo de *C_i*. A redução da *A_{net}/C_i* pode ter sido uma consequência do aumento da temperatura média do ar (figura 1) no metabolismo, pois se trata de espécie que apresenta metabolismo C₃ cuja temperatura ideal situa-se entre 25 a 30°C. No entanto, rapidamente a espécie se adaptou, aumentando a taxa de assimilação do carbono.



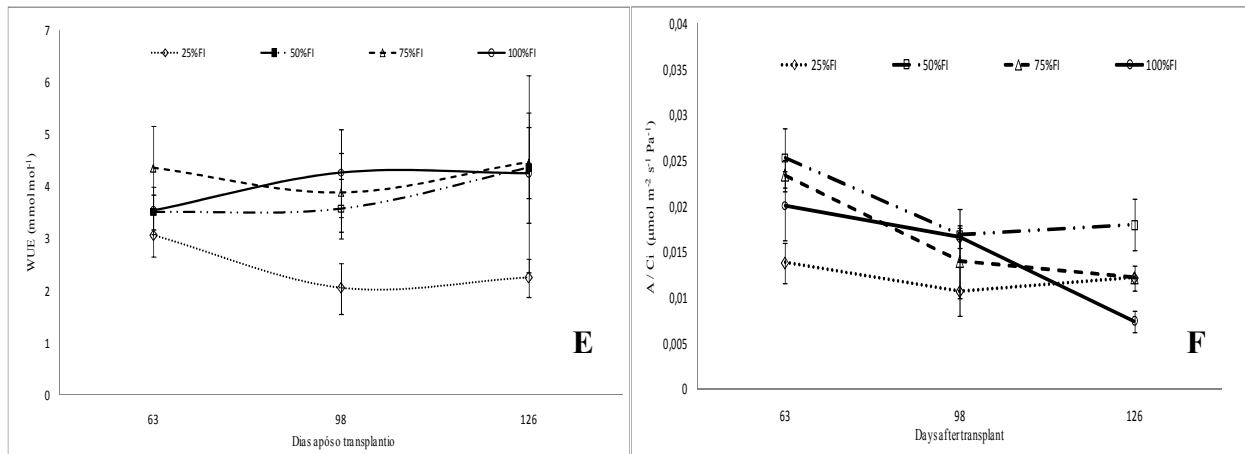


Figura 3. Trocas gasosas foliares em plantas jovens de araticum-de-terra-fria cultivadas em quatro diferentes forças-iônicas da solução nutritiva completa n°2 de Hoagland & Arnon (1950) em 3 diferentes épocas (63, 98 e 126 dias após o transplante). Dados são as médias (\pm S.E.) e cada valor foi determinado com 4 plantas por tratamento ($n=4$) em 4 diferentes épocas de avaliação. (A) – Taxa de assimilação líquida de carbono (A_{net}); (B) - Condutância estomática (gs); (C) - Carbono interno (C_i); (D) - Taxa transpiratória (E); (E) - Eficiência do uso da água (WUE); (F) - Eficiência instantânea de carboxilação (A_{net}/C_i).

3.4. Determinação nutricional foliar

Ao se analisar as interações significativas entre a época de avaliação e as diferentes forças iônicas, verifica-se que 25%FI foi a concentração que menos favoreceu o acúmulo de todos os elementos, que foram significativamente menores ao longo do tempo, diferindo de 50% FI, que promoveu os maiores acúmulos principalmente aos 112 e 140 DAT (Figura 4), sem diferir de 75% e 100%FI em algumas avaliações. Desta forma, acúmulos significativos de N, P, Ca, Mg e S na massa seca total das plantas foram observados a partir de 112DAT, enquanto o K apresentou comportamento singular, com acúmulos desde os 56DAT, sem contudo diferirem de 140DAT (Figura 4).

Observando-se especificamente cada elemento, verifica-se que o N teve maior acúmulo em plantas mantidas em 50%FI e 75%FI aos 112DAT e em 50%FI aos 140DAT. O fósforo apresentou acúmulo significativo aos 112 e 140DAT nas plantas em 50%FI. Cálcio e enxofre apresentaram comportamento semelhante, com obtenção de maiores valores nas plantas em 50% de FI% aos 112DAT, sem contudo diferir de 75 e 100%FI aos 140DAT, em contrapartida, o Mg foi reduzido significativamente nas plantas quando mantidas em 100%FI na última avaliação (figura 4).

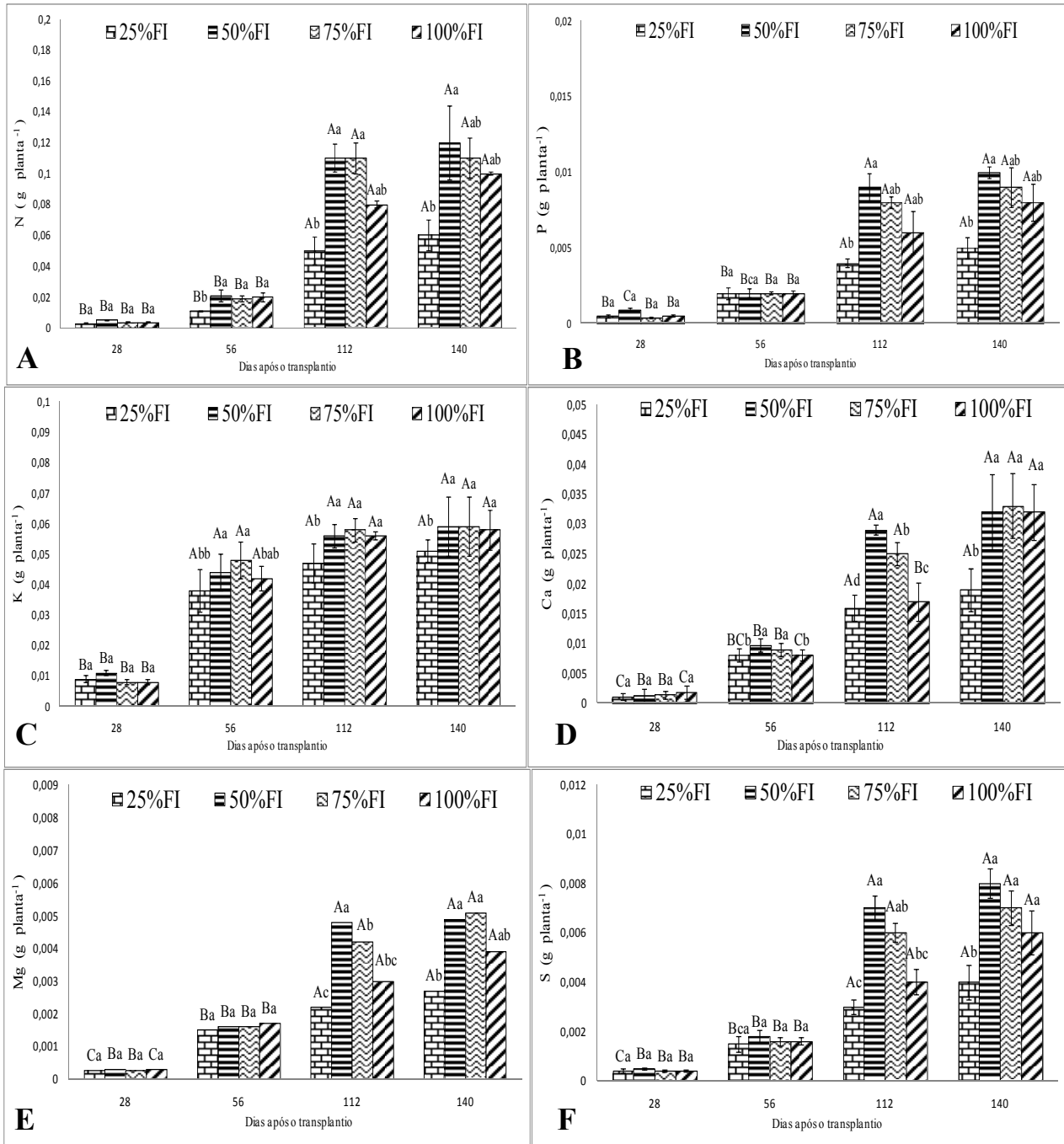


Figura 4. Concentração iônica foliar de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre em g kg^{-1} MS (massa seca) determinado em plantas jovens de araticum-de-terra-fria cultivadas em quatro diferentes forças-iônicas da solução nutritiva completa n°2 de Hoagland & Arnon (1950) em quatro diferentes épocas (28, 56, 112 e 140 dias após o transplantio). Dados são as médias (\pm S.E.) e cada valor foi determinado com 4 plantas por tratamento ($n=4$). Letras maiúsculas iguais comparam épocas de uma mesma força iônica e letras minúsculas iguais comparam as FI em determinada não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% ($P \leq 0.05$).

4. Discussão

Observou-se no presente estudo que as plantas jovens de araticum-de-terra-fria respondem às diferentes forças-iônicas de maneira clara, com maiores valores de crescimento para as plantas cultivadas em 50%FI e 75%FI, menores para as plantas cultivadas em 25%FI e intermediárias para as cultivadas em 100%FI. Esta afirmação se baseia nas diferentes ferramentas fisiológicas utilizadas ao

longo do período experimental que, em análise conjunta de todas as variáveis, permite afirmar que reduções drásticas no fornecimento de elementos minerais, como ocorreu com 25%FI, reduz de modo significativo seu desenvolvimento, da mesma forma que observado por Avilán (1975), Avilán & Leal (1984), Fonseca & Muniz (1992) e Batista et al. (2003), também com anonáceas.

No entanto, quando foi fornecido 100%FI, o que representa uma solução “padrão” para os vegetais, também se observou redução na fotossíntese e no acúmulo de elementos minerais, o que demonstra, portanto, que a espécie não necessita de grandes quantidades de elementos minerais para expressar seu potencial de desenvolvimento, além do que apresenta rusticidade, com adaptação às condições intermediárias de disponibilidade nutricional. Tal constatação torna a espécie economicamente viável em relação aos gastos com adubações em viveiro. Neste contexto, o emprego de 50% da força-iônica foi suficiente para a atuação efetiva dos elementos minerais nos diferentes processos fisiológicos, resultando em maior eficiência fotossintética e conseqüentemente maior desenvolvimento vegetal.

Em relação às respostas fotossintéticas, salienta-se que o acesso de CO₂ atmosférico às células fotossintéticas do mesófilo ocorre através da abertura estomática e, portanto, variações na condutância estomática (g_s) afetam diretamente A_{net} e E (Raschke, 1979; Farquhar & Sharkey, 1982), além de que g_s sofre interferência do ambiente (Berry & Bjorkman, 1980; Gutschick, 1997), do ácido abscísico (Farquhar & Sharkey, 1982; Mahouachi et al., 2006) e da nutrição mineral (Wong et al., 1979; Von Caemmerer & Farquhar, 1981; Marschner, 1995; Epstein & Bloom, 2006; Taiz & Zeiger, 2009).

O fato das taxas de assimilação de CO₂ (A_{net}) das plantas submetidas ao tratamento 50%FI mostrarem-se elevadas em comparação aos demais tratamentos (figura 3) pode estar atribuído, ao melhor aproveitamento dos elementos minerais fornecidos, o que resultou em aumento das taxas fotossintéticas das folhas maduras ou ainda, maior capacidade fotossintética das folhas (Aikin & Hanan, 1975; Zieslin et al., 1978; Bozarth et al., 1982; Mediene et al., 2002), o que para Pinkard et al. (1999) só é alcançado a longo prazo.

Deste modo, as taxas de assimilação de carbono (A_{net}) e a eficiência de carboxilação (A_{net}/C_i) obtidas por plantas cultivadas em 50%FI foram de maneira geral superiores quando comparadas aos demais tratamentos. Além disso, apresentaram altos valores de E , o que segundo Klar (1984) está relacionado com altas taxas de absorção de CO₂ e, provavelmente, grandes consumos de água o que implica em incremento no desenvolvimento da espécie. No entanto, o que se observou com 50%FI foi redução da transpiração e elevada taxa de assimilação de CO₂, mediada pela atividade da Rubisco, o que resultou em maior eficiência do uso da água (Figura 3).

O que deve ser observado, portanto, é que difusão de CO₂ e perda de água por transpiração são difusões independentes (Larcher, 2000) e embora a transpiração possa ser considerada como um “custo necessário” associado com a abertura estomática para permitir a difusão do dióxido de carbono do ar para a fotossíntese (Afrousheh et al., 2010) e permitir o fluxo de massa de nutrientes minerais absorvidos pelas raízes até a parte aérea (Bilger et al., 1984), nem sempre A_{net} e E , são grandezas dependentes, como observado neste trabalho.

As plantas mantidas em 25%FI apresentaram os menores valores para WUE (figura 3 E), o que pode ter refletido diretamente na condutância estomáticas das plantas jovens e posteriormente nas atividades enzimáticas (Von Caemmerer & Farquhar, 1981) com conseqüências na utilização dos nutrientes minerais (Payne et al., 1992; Ranjith et al., 1995). A dependência da WUE sobre o suprimento hídrico e nutricional em plantas C₃ foi demonstrado em vários trabalhos, incluindo Farquhar & Richards (1984) em plantas de trigo, Hubick & Farquhar (1989) em plantas de cevada, Hubick et al. (1986) em plantas de amendoim e Virgona & Farquhar (1996) em plantas de girassol.

Além disso, no cultivo em 25%FI nós observamos os maiores valores de CO₂ interno principalmente até aos 98 DAT (figura 4 A) o que é resultado da baixa eficiência da Rubisco na carboxilação (figura 4 F). Deste modo, mesmo com a taxa de transpiração em ascensão no período (figura 4 D) e tendência a aumento da condutância estomática (figura 4 B), não há fluxo de CO₂ para o interior da folha devido, portanto, à falha provocada no aparato fotossintético pela baixa disponibilidade

iônica na solução nutritiva, impedindo a redução do potencial químico do CO_2 interno e conseqüentemente a entrada de mais CO_2 na folha. Com a diminuição da atividade da Rubisco, menor será a síntese orgânica e como a taxa de transpiração (E) é elevada, há redução da eficiência do uso da água (WUE)

A justificativa para a redução da taxa de assimilação de carbono (A_{net}) e da transpiração (E) apresentadas pelas plantas mantidas em 100%FI, atingindo os menores valores aos 126 DAT (figura 3), encontra suporte nos trabalhos de Schwarz et al. (2002) em tomateiro cultivado em diferentes condutividades elétricas da solução nutritiva, uma vez que o aumento na condutividade elétrica (EC) da solução nutritiva pode levar à redução do desenvolvimento vegetativo, seja ele da planta inteira ou de partes individuais devido ao acúmulo iônico (Gomez et al., 1992; Al-Harbi, 1995; Schwarz & Kuchenbuch, 1997) afetando diretamente a fotossíntese (Marschner, 1995; Epstein & Bloom, 2006).

Verifica-se, portanto, a importância do efeito direto dos elementos minerais na fotossíntese de araticum-de-terra-fria, como o nitrogênio, que é essencial na composição bioquímica de muitos compostos não protéicos tais como co-enzimas, metabólitos secundários, poliaminas e pigmentos fotossintéticos (Marschner, 1995; Maathuis, 2009) além de que alguns estudos apontam que a concentração de nitrogênio desempenha papel fundamental na atividade da enzima Rubisco (Ribulose bi-fosfato carboxilase/oxigenase) ou na quantidade desta enzima, essencial para a fotossíntese (Heitholt et al., 1991; Osaki et al., 1993).

Deste modo, a assimilação líquida de carbono (A_{net}) está relacionada intimamente com o nível de N foliar (Lawlor et al., 1987; Sinclair & Horie, 1989; Wolfe et al., 1988; Zhao et al., 2005) corroborando os resultados deste trabalho, pois o maior acúmulo deste elemento foi observado ao final do experimento, seguido das maiores taxas de assimilação de carbono (A_{net}) nas plantas mantidas em 50%FI (Figura 4). O nitrato e o amônio (formas utilizadas para disponibilizar o nitrogênio em solução nutritiva) influenciam diretamente a absorção de todos os demais íons, ou seja, estão envolvidos na manutenção da eletro-neutralidade dentro da planta (Kotsiras et al., 2002).

Outro elemento de extrema importância é o fósforo, considerado crucial para a manutenção das reações de fosforilação durante a assimilação de carbono (Ackerson, 1985; Lawlor & Cornic, 2002), além de auxiliar positivamente em outros parâmetros fotossintéticos como g_s e WUE (Bruck et al., 2000), afirmações estas observadas neste trabalho em plantas cultivadas em 50%FI. Quantidade de fósforo abaixo dos níveis ideais para as plantas resultam em decréscimos na taxa de assimilação de carbono devido muitas etapas intermediárias da fixação de carbono envolverem açúcares fosfatados (Maathuis, 2009; Taiz & Zeiger, 2009).

Para o potássio a relação entre a concentração foliar e as taxas fotossintéticas tem recebido menor atenção em espécies frutíferas decíduas (Basile et al., 2003). Este elemento está intimamente relacionado a regulação estomática, transpiração e osmorregulação (Marschner, 1995; Mahouachi et al., 2006; Maathuis, 2009). Nossos resultados mostram que A_{net} diminui com a menor disponibilidade de potássio fornecida pelos tratamentos, da mesma forma que observado por Terry & Ulrich (1973b), Bednarsz & Oosterhuis (1999) e Basile et al. (2003) em plantas de batata-doce, algodão e amêndoas, respectivamente, enquanto a partir de 56DAT já se observou acúmulo de potássio nas plantas mantidas nas forças iônicas que apresentaram os maiores valores dos parâmetros fotossintéticos (Figura 3 e 4).

O cálcio desempenha papel estrutural nas células e sinaliza algumas respostas do vegetal ao meio, como por exemplo, a regulação estomática (Allan et al., 1994; Mahouachi et al., 2006; McAinsh & Pittman, 2009). Terry & Huston (1975) afirmam que a aparente ausência de efeito na fotossíntese se dá em virtude das pequenas quantidades deste elemento necessárias para esta atividade metabólica, diferente de outros elementos requeridos para a fotossíntese como o fósforo (Terry & Ulrich, 1973a) e o potássio (Terry & Ulrich, 1973b).

O magnésio, acumulado nas plantas mantidas em 50%FI a partir dos 112DAT desempenha papel fundamental na fotossíntese, particularmente na capacidade de promover as reações de luz no estroma (Liu et al., 2008; Maathuis, 2009) além de ser requerido no empilhamento do tilacóide, nas enzimas

envolvidas na assimilação de carbono e na partição de assimilados entre amido e açúcares (Baier & Latzko, 1975; Barber, 1982; Cammarano et al., 1972; Laing & Christeller, 1976).

O enxofre, também acumulado inicialmente nas plantas cultivadas em 50% de FI aos 112DAT, é responsável pela formação de sulfolípidos, que normalmente são encontrados em pequenas proporções nos tilacóides do cloroplasto (Epstein & Bloom 2006, Maathuis 2009). No entanto, o porquê das membranas fotossintéticas requererem tais lípidos ainda não está claro, mas é sugerido que eles sejam essenciais para a estabilização dos componentes fotossintéticos (Hammond et al. 2003). Algumas proteínas vegetais contêm enxofre, como as ferredoxinas, implicado na fotossíntese como na formação da clorofila e reações de transferência eletrônica (Epstein & Bloom, 2006; Hansch & Mendel, 2009).

Justifica-se desta maneira o efeito do fornecimento adequado dos elementos minerais para o bom funcionamento do processo fotossintético, o que resultou em maior desenvolvimento da cultura conforme se observa nas variáveis de crescimento e nos índices da análise de crescimento (tabela e figura 2).

A razão de área foliar (RAF) é o índice fisiológico que expressa a área foliar útil para a fotossíntese (Silva et al. 2000), desse modo, com o crescimento da planta, aumenta a interferência das folhas superiores sobre as inferiores, diminuindo a área foliar útil (Rodrigues, 1982; Benincasa 2003, David et al., 2007), conforme constatou-se com as plantas cultivadas em todas as forças-iônicas ao longo dos dias após o transplântio (DAT), sem diferenças significativas entre os tratamentos. A RAF, portanto apresentou queda ao longo do experimento (140 DAT) (figura 3A), o que era esperado uma vez que as plantas cresceram em todos os tratamentos e o sombreamento inevitável (Payne et al., 1992; Valmorbida et al., 2007).

Observa-se que houve maior acúmulo de matéria seca em relação ao material pré-existente (TCR) em plantas cultivadas em 50%FI, 75%FI e 100%FI (figura 2 C), com diferenças significativas entre os valores médios obtidos em 50%FI em relação ao cultivo em 25%FI (tabela 3). Desta forma, a TCR evidencia comportamento semelhante ao descrito na literatura, observando-se valores altos nos primeiros intervalos, com posteriores decréscimos nos intervalos finais (Rodrigues 1982; Boaro et al., 1996; David et al., 2007). Além do que, os valores de TCR foram semelhantes aos reportados para mudas de outras espécies vegetais (Grime & Hunt, 1975).

De acordo com Poorter (1989) e Meziane & Shipley (1999) diferenças na taxa de crescimento relativo (TCR) dentre as espécies, mesmo cultivadas em idênticas condições ambientais influencia a dinâmica e a estrutura entre as espécies e pode estar associada com a taxa de assimilação líquida (TAL), no sentido de relacionar a taxa fotossintética à quantidade de área foliar disponível para a interceptação de luz e à alocação da biomassa foliar (Lambers et al., 1998) o que significa ganho de carbono através da fotossíntese e a perda de carbono através da respiração (James & Rebecca, 2007).

Plantas silvestres adaptadas a solos pobres em nutrientes, como é o caso da espécie araticum-de-terra-fria, podem apresentar estratégia de crescimento denominada tipo I (crescimento lento) no qual são mais eficientes na aquisição de nutrientes do que espécies “cultivadas” ou as consideradas “invasoras” (tipo II, rápido crescimento) (Marschner, 1995). A característica mais importante das espécies que apresentam a estratégia tipo I é sua baixa taxa de crescimento potencial máximo e menor uso eficiente de nutrientes, sendo esta característica extremamente importante para a sua sobrevivência e reprodução (Chapin, 1980 e Chapin, 1988) mesmo em condições de alto suprimento nutricional (Chapin, 1980; Marschner, 1995; Fageria, 2001).

A taxa de assimilação líquida (TAL) é o resultado da interação das variações dos fatores ambientais (luz, CO₂, temperatura, disponibilidade de água e nutrientes, idade das folhas, etc.) com as diferenças específicas de cada espécie, segundo seu genótipo (Lambers et al., 1998; Silva et al., 2000). A TAL reflete a eficiência do sistema assimilador que está envolvido na produção de matéria seca, estimando, dessa forma, a fotossíntese líquida (Radford 1967).

O comportamento da TAL apresentado no presente trabalho até os 140 DAT entre os tratamentos estudados (figura 4 d) está de acordo com trabalhos desenvolvidos em cultivo hidropônico com variações de elementos na solução nutritiva, entre eles David et al. (2007), Alves (2008), David &

Boaro (2009) salientando-se que esta comparação foi realizada com plantas de diferentes espécies. Após 140 DAT foi verificado o maior valor médio da TAL nas plantas cultivadas em 50%FI (tabela 3). Este comportamento apresentado pode ser explicado pelo maior aproveitamento dos elementos minerais fornecidos, uma vez que refletiu em incrementos na produção primária da espécie.

A razão de massa foliar (RMF) que reflete a fração de massa seca exportada da folha para os outros órgãos do vegetal, sendo portanto a relação do aparelho fotossintetizante em relação à biomassa vegetal total e tende a redução desse valor ao longo do tempo, a medida que o ciclo do vegetal se desenvolve (Magalhães, 1986; Rodrigues et al., 1993). Portanto, à medida que as folhas atingem sua fase madura, começa a haver decréscimo na RMF, ou seja, há direcionamento de compostos fotossintetizados para outras regiões vegetais (Lugg & Sinclair, 1980). No entanto, no presente estudo, as plantas mantidas em 25%FI foram as que tenderam a maior exportação, o que pode ter refletido na redução da espessura da folha (AFE) (Fig 2b) devido ao seu reduzido desenvolvimento.

Deste modo, concluímos que as plantas jovens de araticum-de-terra-fria cultivadas em concentrações intermediárias de nutrientes (força-iônica) da solução nutritiva completa nº2 de Hoagland & Arnon (1950), como 50%FI, expressam mais adequadamente seu potencial fisiológico, em função de sua rusticidade e permitem economia em gastos com nutrição mineral em viveiros de produção de mudas.

Agradecimentos

Nós agradecemos a Coordenadoria de Assistência ao Pessoal do Ensino Superior (CAPES) pelo suporte financeiro para a realização deste trabalho.

Referências

- Ackerson, R.C., 1985. Osmoregulation in cotton in response to water-stress: III. Effects of phosphorus fertility. *Plant Physiol.* 77, 309-312.
- Afrousheh, M., Ardalana, M., Hokmabadib, H., Afrousheh, M., 2010. Nutrient deficiency disorders in *Pistacia vera* seedling rootstock in relation to ecophysiological, biochemical characteristics and uptake pattern of nutrients. *Sci. Hortic.* 124, 141-148.
- Aikin, W.J., Hanan, J.J., 1975. Photosynthesis in the rose: effect of light intensity, water potential, water potential and leaf age. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 100, 551-555.
- Al-Harbi, A.R. 1995. Growth and nutrient composition of tomato and cucumber seedlings as affected by sodium chloride salinity and supplemental calcium. *J. Plant Nutr.* 18, 1403-1416.
- Allan, A.C., Fricker, M.D., Ward, J.L., Beale, M.H., 1994. Two transduction pathways mediate rapid effects of abscissic acid in *Comelina* guard cells. *Plant Cell* 6, 1319-1328.
- Alvarez, R.C.F., Rodrigues, J.D., Marubayashi, O.M., Alvarez, A.C. Crusciol, C.A.C. 2005. Análise de crescimento de duas cultivares de amendoim (*Arachis hypogaea* L.) *Acta Sci. Agron.* 27, 611-616
- Alves, E.U.A., Barros, A.A.A., Gonçalves, E.P., Alves, A.U., Gonçalves, G.S., Oliveira, L.S.B., Cardoso, E.A. 2008. Substrate for tests of seedlings emergency and seed vigor of *Erythrina velutina* Willd., Fabaceae. *Semina* 29, 69-82.
- Avilán, L., Leal, F., 1984. Áreas potenciales para el desarrollo de diferentes espécies frutícolas en el país: IV. Anonáceas. *Rev. Fac. Agron.* 13, 47-59.
- Avilán, L.R., 1975. Efecto de la omisión de los macronutrientes en el desarrollo y composición química de la guanábana (*Annona muricata* L.) cultivada en soluciones nutritivas. *Agron. Trop.* 25, 73-79.
- Baier, D., Latzko, E. 1975. Properties and regulations of C-1-fructose 1,6-diphosphatase from spinach chloroplasts. *Biochim. Biophys. Acta* 396, 141-148.

- Barber, J., 1982. Influence of surface charges on thylakoid structure and function. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 33, 261-295.
- Barbosa, Z., Soares, I., Crisóstomo, L.A. 2003. Crescimento e absorção de nutrientes por mudas de gravioleira. *Rev. Bras. Frut.* 25, 519-522.
- Basile, B., Reidelb, E.J., Weinbaumb, S.A., DeJong, T., 2003. Leaf potassium concentration, CO₂ exchange and light interception in almond trees (*Prunus dulcis* (Mill.) D.A. Webb) *Sci. Hort.* 98, 185-194.
- Batista, M.M.F., Viégas, I.J.M., Frazão, D.A.C., Thomaz, M.A.A., Silva, R.C.L., 2003. Efeito da omissão de macronutrientes no crescimento, nos sintomas de deficiências nutricionais e na composição mineral em gravioleiras (*Annona muricata*). *Rev. Bras. Frut.* 25, 315-128.
- Bednarz, C.W., Oosterhuis, D.M., 1999. Physiological changes associated with potassium deficiency in cotton. *J. Plant Nutr.* 22, 303-313.
- Benincasa, M.M.P. 2003. Análise de crescimento de plantas (noções básicas). Funep, Jaboticabal.
- Berry, J., Bjorkman, O. 1980. Photosynthetic response and adaptation to temperature in higher plants. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 31, 491-543.
- Berry, J.A., Downton, W.J.S. 1982. Environmental regulation of photosynthesis, In: Govindjee, E. (Ed.), *Photosynthesis*. Academic Press, New York. pp. 263-343.
- Bettiolo Neto, J.E., Pio, R., Bueno, S.C.S., Bastos, D.C., Scarpare filho, J.A., 2006. Enraizamento de estacas dos porta enxertos Araticum de terra fria (*Rollinia* sp.) e Araticum mirim (*Rollinia emarginata* Schltdl.) para anonáceas. *Cienc. Agrotec.* 30, 1077-1082.
- Bilger, H.W., Schreiber, U., Lange, O.L., 1984. comparative investigation of chlorophyll fluorescence changes and tissue necrosis methods. *Oecol* 63, 256-262.
- Boaro, C.S.F., Rodrigues, J.D., Pedras, J.F., Rodrigues, S.D., Delachiave, M.E.A., Ono, E.O. 1996. Avaliação do crescimento do Feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L. cv Carioca) sob diferentes níveis de magnésio. *Biotemas* 9, 15-28.
- Bonaventure, L., 1999. A cultura de cherimola e seu híbrido, a atemóia. Nobel, São Paulo.
- Bozarth, C.S., Kennedy, R.A., Schekel, K.A. 1982. The effects of leaf age on photosynthesis in roses. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 107, 707-712.
- Bruck, H., Payne, W.A., Sattelmacher, B. 2000. Effects of phosphorus and watersupply on yield, transpirational water-use efficiency, and carbon isotope discrimination of pearl millet. *Crop Sci.* 40, 120-125.
- Cammarano, P., Felsani, A., Gentile, M., Gualerzi, C., Romeo, A., Wolf, G. 1972. Formation of active hybrid 80-S particles from subunits of pea seedlings and mammalian liver ribosomes. *Biochim. Biophys. Acta* 281, 625-642.
- Castellane, P.D., Araujo, J.A.C., 1995. Cultivo sem solo - Hidroponia, 4 ed. Funep, Jaboticabal.
- Chapin, F.S. 1980. The mineral nutrition of wild plants. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 11, 233-60.
- Chapin, F.S., Fetcher, N., Kielland, K., Everett, K.R., Linkins, A.E. 1988. Productivity and nutrient cycling of Alaskan tundra: enhancement by flowing soil water. *Ecol.* 69, 693-702.
- Chen, K., Guoqian, H., Keutgen, N., Marc, J.J., Janssens, F.L. 1999. Effects of NaCl salinity and CO₂ enrichment on pepino (*Solanum muricatum* Ait.): II. Leaf photosynthetic properties and gas exchange. *Sci. Hortic.* 81, 43-56.
- Cuzzuol, G.R.F., Carvalho, M.A.M., Zaidan, L.B.P., Furlani, P.R. 2005. Soluções nutritivas para cultivo e produção de frutanos em plantas de *Vernonia herbacea*. *Pesq. agropec. bras.* 40, 911-917.
- David, E.F.S., Boaro, C.S.F. 2009. Translocação orgânica, produtividade e rendimento de óleo essencial de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com variação dos níveis de N, P, K e Mg. *Rev. Bras. Plant Med.* 11, 236-246.
- David, E.F.S. Mischan, M.M., Boaro, C.S.F. 2007. Desenvolvimento e rendimento de óleo essencial de menta (*Mentha x piperita* L.) cultivada em solução nutritiva com diferentes níveis de fósforo. *Biotemas* 20, 15-26.

- Epstein, E., Bloom, A. 2006. Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas. Planta, Londrina.
- Fageria, V.D. 2001. Nutrient interactions in crop plants. J. Plant Nutr. 24, 1269-1290.
- Farquhar, G.D., Richards, R.A. 1984. Isotopic composition of plant carbon correlates with water-use efficiency of wheat genotypes. Aust. J. Plant Physiol. 11, 539-552.
- Farquhar, G.D., Sharkey, T.D. 1982. Stomatal Conductance and photosynthesis Annu. Rev. plant Physiol. 33, 317-345.
- Fitter, A.H., Hay, R.K.M. 1981. Environmental physiology of plants. Academic Press, New York.
- Fonseca, A.G., Muniz, I.A.F. 1992. Informações sobre a cultura de espécies frutíferas nativas da região de cerrado. Infor. Agrop. 16, 12-17.
- Franco, C.F., Prado, R.M. 2006. Uso de soluções nutritivas no desenvolvimento e no estado nutricional de mudas de goiabeira: macronutrientes. Acta Sci. Agron. 28, 199-205.
- Franco, C.F., Prado, R.M. 2008. Nutrição de micronutrientes em mudas de goiabeira em resposta ao uso de soluções nutritivas. Acta Sci. Agron. 30, 403-408.
- Franco, C.F., Prado, R.M., Braghirolli, L.F., Rozane, D.E., 2008. Marcha de absorção dos micronutrientes para mudas de goiabeiras cultivares Paluma e Século XXI. Bragantia 67, 83-90.
- Furlani, P.R., Silveira, L.C.P., Bolonhezi, D., Faquin, V. 1999. Cultivo hidropônico de plantas. IAC, Campinas.
- Gomez, I., Navarro-Pedreno, J., Mataix, J. 1992. The influence of saline irrigation on organic waste fertilisation on the mineral content (N, P, K, Na, Ca, and Mg) of tomatoes. J. Sci. Food Agric. 59, 483-487.
- Grime, J.P., Hunt, R. 1975. Relative growth rate: its range and adaptative significance in a local flora. J. Ecol. 63, 393-442.
- Gutschick, V.P., 1997. Photosynthesis, Growth Rate, and Biomass Allocation In: Jackson, L.E. (Ed.), Ecology in agriculture. Academic Press, San Diego (1997). pp.39-78
- Hammond, J.P., Bennett, M.J., Bowen, H.C., Broadley, M.R., Eastwood, D.C., May, S.T.; Rahn, C.; Swarup, R.; Woolaway, K.E.; White, P.J. 2003. Changes in gene expression in *Arabidopsis thaliana* shoots during phosphate starvation and the potential for developing smart plants. Plant Physiol. 132, 578-596.
- Heitholt, J.J., Johnson, R.C., Ferris, D.M. 1991. Stomatal limitation to carbon dioxide assimilation in nitrogen and drought-stressed wheat. Crop Sci. 31, 135-139.
- Helbel Junior, C., Rezende, R., Freitas, P.S.L., C.A.G, A., Frizzone, J.A. 2008. Influência da condutividade elétrica, concentração iônica e vazão de soluções nutritivas na produção de alface hidropônica. Cienc. agrotec. 32, 1242-1247.
- Hoagland, D.R., Arnon, D.I. 1950. The water culture method for growing plants without soils, Califórnia Agricultura Experimental Station, Berkeley.
- Hubick, K.T., Farquhar, G. 1989. Carbon isotope discrimination and the ratio of carbon gained to water lost in barley cultivars. Plant Cell Environ. 12, 795-804.
- Hubick, K.T., Taylor, J.S., Reid, D.M. 1986. The effect of drought on levels of abscisic acid, cytokinins, gibberellins and ethylene in aeroponically – grown sunflower plants. Plant growth Regul. 4, 139-151.
- Hunt, R. 1982. Plant growth curves. An introduction to the functional approach to plant growth analysis. Edward Arnold, London.
- James, J.J., Rebecca, E.D. 2007. A basis for relative growth rate differences between native and invasive for seedlings. Rang. Ecol. Manag. 60, 395-400.
- Kavati, R. 1992. O cultivo da atemóia, In: Donadio, L.C., Martin, A.B.G., Valente, J.P. (Eds.), Fruticultura Tropical. FUNEP, Jaboticabal (1992). pp. 39-70.
- Kavati, R. 1998. A cultura de atemóia (*Annona cherimola* Mill. x *Annona squamosa* L.). Cati, Campinas.

- Klar, A.E. 1984. A água no sistema solo-planta-atmosfera, 2 ed. Nobel, São Paulo.
- Kotsiras, A., Olympios, C.M., Drosopoulos, J., Passam, H.C. 2002. Effects of nitrogen form and concentration on the distribution of ions within cucumber fruits. *Sci. Hortic.* 95, 175-183.
- Laing, W.A., Christeller, J.T. 1976. A model for the kinetics of activation and catalysis of ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase. *Biochem. J.* 159, 563-570.
- Lambers, H., Chapin, F.S., Pons, T.L. 1998. *Plant physiological ecology*. Springer-Verlag, New York.
- Larscher, W. 2000. *Ecofisiologia Vegetal*. Rima, São Carlos. 529p.
- Lawlor, D.W., Cornic, G., 2002. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plant Cell Environ.* 25, 275-294.
- Lawlor, D.W., Young, A.T., Keys, A.J., Kendall, A.C. 1987. Nitrate nutrition and temperature effects on wheat: photosynthesis and photorespiration of leaves. *J. Exp. Bot.* 38, 393-408.
- Liu, H., Ximing, C., Riyuan, C., Shiwei, S., Guangwen, S. 2008. Effects of magnesium deficiency on growth and photosynthesis of flowering chinese cabbage. *Acta Hort.* 767, 169-175.
- Lopes, M.C., Freier, M., Mattei, J.D., Gärtner, M., Franzener, G., Casimiro, E.L.N., Sevigiani, A. 2003. Acúmulo de nutrientes por cultivares de alface em cultivo hidropônico no inverno. *Hort. Bras.* 21, 211-215.
- Lugg, D.G.; Sinclair, T.R. 1980. Seasonal changes in morphology and anatomy of field grown soybean leaves. *Crop Sci.* 20, 191-196.
- Maathuis, F.J., 2009. Physiological functions of mineral macronutrients. *Curr. Opin. Plant Biol.* 12, 250-258.
- Magalhães, A.C.N. 1986. Análise quantitativa de crescimento. In: Ferri, M.G. (Ed.), *Fisiologia vegetal*, Edusp, São Paulo (1986). pp. 331-350.
- Mahouachi, J., Socorro, A.R., Talon, M. 2006. Responses of papaya seedlings (*Carica papaya* L.) to water stress and rehydration: growth, photosynthesis and mineral nutrient imbalance. *Plant and Soil* 281, 137-146.
- Malavolta, E. 1980. *Elementos de nutrição mineral de plantas*. Agronômica Ceres, São Paulo.
- Malavolta, E., Vitti, G.C., Oliveira, S.A. 1997. *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*, 2.ed. Potafos, Piracicaba.
- Marschner, H. 1995. *Mineral nutrition of higher plants*, 2.ed. Academic Press, San Diego.
- Martinez, H.E.P. 1997. *Formulação de soluções nutritivas para culturas hidropônicas comerciais*. Funep, Jaboticabal.
- Martinez, H.E.P. 2002. *O uso do cultivo hidropônico de plantas em pesquisa*, 3.ed. Imprensa Universitária, Viçosa.
- McAinsh, M.R., Pittman, J.K. 2009. Tansley review: Shaping the calcium signature. *New Phytol.* 181, 275-294.
- Mediene, S., Jordan, M.O., Pages, L., Lebot, J., Adamowicz, S. 2002. The influence of severe shoot pruning on growth, carbon and nitrogen status in young peach trees (*Prunus persica*). *Tree Physiol.* 22, 1289-1296.
- Meziane, D., Shipley, B. 1999. Interacting components of interspecific relative growth rate: constancy and change under differing conditions of light and nutrient supply. *Func. Ecol.* 13, 611-622.
- Nogueira, E.A., Mello, N.T.C., Caser, D.V. 2007. Anonáceas: do Brasil império a aemória, frutas e derivados. Disponível em: <<http://www.ibraf.org.br/x-re/f-revista.html>> Acesso em 9 fev. 2009.
- Osaki, M., Shinano, T., Tadano, T. 1993. Effect of nitrogen, phosphorus, or potassium deficiency on the accumulation of ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase and chlorophyll in several field crops. *Soil Sci. Plant. Nutr.* 39, 417-425.

- Parker, D.R., Norvell, W.A. 1999. Advances in solution culture methods for plant mineral nutrition research, In: Sparks, D.L. (Ed.), *Advances in Agronomy*, Academic Press, New York. pp. 151-213.
- Payne, W.A., D.C, M., Hossner, L.R., Lascao, R.J., Onken, A.B., Wendt, C.W. 1992. Soil Phosphorus Availability and Pearl Millet Water-Use Efficiency. *Crop Sci.* 32, 1010-1015.
- Pinkard, E.A., Battaglia, M., Beadle, C.L., Sands, P.J., 1999. Modeling the effect of physiological responses to green pruning on net biomass production of *Eucalyptus nitens*. *Tree Physiol.* 19, 1-12.
- Poorter, H. 1989. Interspecific variation in relative growth rate: on ecological causes and physiological consequences. In: Lambers, H. et. al. (Ed.), *Causes and consequences of variation in growth rate and productivity of higher plants*. Academic Publishing, The Hague (1989). pp.45-67.
- Portes, T.A., Castro Júnior, L.G. 1991. Análise de crescimento de plantas: Um programa computacional auxiliar. *Rev. Bras. Fisiol.* 3, 53-60.
- Radford, P.S. 1967. Growth analysis formulae: their use and abuse. *Crop Sci.* 7, 171-175.
- Ranjith, S.A., Meinzer, F.C., Perry, M.H., Thom, M. 1995. Partitioning of Carboxylase Activity in Nitrogen-stressed Sugarcane and its Relationship to Bundle Sheath Leakiness to CO₂, Photosynthesis and Carbon Isotope Discrimination. *Aust. J. Plant Physio.* 22, 903-911.
- Raschke, K. 1979. Movements using turgor mechanisms, In: Haupt, W.F. (Ed.), *Physiology of movements*. Springer-Verlag, Berlin, pp. 383-441.
- Resh, H.M. 2001. *Hydroponic Food Production: a definitive guidebook of soilless food-growing methods*, 6.ed. Newconcept Press, New Jersey.
- Rodrigues, J.D., Rodrigues, S.D., Delachiave, M.E.A., Pedras, J.F., Boaro, C.S.F. Ono, E.O. 1993. influência de diferentes níveis de cálcio em plantas de estilosantes (*Stylosanthes guyanensis* (aubl) sw. cv. Cook), avaliados através de alguns parâmetros fisiológicos. *Sci. Agric.* 50, 45-57.
- Rodrigues, S.D. 1982. Análise de crescimento de plantas de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) submetidas a carências nutricionais. Ph.D. thesis. Rio Claro, SP: Instituto de Biociências de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista. 1982. 176p.
- SAS, Institute. 2002. *The SAS system for Windows*, ver. 9. Cary, NC.
- Sarruge, J.R. Soluções nutritivas. 1975. *Summa Phyto.* 1, 231-233.
- Schwarz, D.; Kuchenbuch, R. 1997. Growth analysis of tomato in closed recirculating systems in relation to EC-value of the nutrient solution concentration. *Acta Hort.* 450, 169-176.
- Schwarz, D., Klaring, H.P., Van Iersel, M.W., Ingran, K.T. 2002. Growth and Photosynthetic Response of Tomato to Nutrient Solution Concentration at Two Light Levels. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 127, 984-990.
- Silva, L.C., Belterão, N.E.M., Neto M.S.A. 2000. *Análise do Crescimento de Comunidades Vegetais*. Embrapa, Campina Grande.
- Sinclair, T.R., Horie, T. 1989. Leaf nitrogen, photosynthesis, and crop radiation-use efficiency: a review. *Crop Sci.* 29, 90-98.
- Taiz, L., Zeiger, E. 2009. *Fisiologia vegetal*. Artmed, Porto Alegre. 819p.
- Teixeira, N.T. 1996. *Hidroponia: Alternativa para pequenas áreas*. Livraria e Editora Agropecuária, Guaira.
- Terry, N., Huston, R.P. 1975. Effects of Calcium on the Photosynthesis of Intact Leaves and Isolated Chloroplasts of Sugar Beets. *Plant Physiol.* 55, 923-927.
- Terry, N., Ulrich, A. 1973a. Effects of phosphorus deficiency on the photosynthesis and respiration of leaves of sugar beet. *Plant Physiol.* 51, 43-47.
- Terry, N., Ulrich, A., 1973b. Effects of potassium deficiency on the photosynthesis and respiration of leaves of sugar beet. *Plant Physiol.* 51, 783-786.
- Tokunaga, T. 2005. *A cultura da atemóia*. Cati, Campinas.

- Valmorbida, J., Boaro, C.S.F., Scavron, J., David, E.F.S. 2007. Crescimento de *Mentha piperita* L., cultivada em solução nutritiva com diferentes doses de potássio. *Rev. Bras. Plant Med.* 9, 27-31.
- Vargas Ramos, V.R. 1992. Cultura da gravioleira (*Annona muricata* L.), In: Donadio, L.C., Martins, A.B.G., Valente, J.P. (Eds.), *Fruticultura Tropical*. Funep, Jaboticabal (1992). pp.127-157.
- Virgona, J.M., Farquhar, G. 1996. Genotypic variation in relative growth rate and carbon isotope discrimination in sunflower is related to photosynthetic capacity. *Aust. J. Plant Physiol.* 23, 227-236.
- Von Caemmerer, S., Farquhar, G.D. 1981. Some relationships between the biochemistry of photosynthesis and the gas exchange of leaves. *Planta* 153, 376-387.
- Wolfe, D.W., Henderson, D.W., Hsiao, T.C., Alvino, A. 1988. Interactive water and nitrogen effects on senescence of maize. II - Photosynthetic decline and longevity of individual leaves. *Agron. J.* 80, 865-870.
- Wong, S.C., Cowan, I.R., Farquhar, G.D. 1979. Stomatal conductance correlates with photosynthetic capacity. *Nature* 282, 424-426.
- Zhao, D., Reddy, K.R., Kakani, V.G., Read, J.J., Koti, S. 2005. Selection of optimum reflectance ratios for estimating leaf nitrogen and chlorophyll concentrations of field-grown cotton. *Agron. J.* 97, 89-98.
- Zieslin, N., Kirscholtza, J., Mo, Y. 1978. Effect of night temperature and growing-practices on the winter yield of roses. *Sci Hortic.* 8, 363-370.

4. Capítulo II

**EFEITO DA FORÇA-IÔNICA DA SOLUÇÃO NUTRITIVA NO DESENVOLVIMENTO,
NAS TROCAS GASOSAS E NO ACÚMULO IÔNICO DE PLANTAS JOVENS DE (*Annona
emarginata* (SCHLTDL.) H. RAINER) EM CULTIVO HIDROPÔNICO²**

² Artigo nas normas da revista Tree Physiology

EFEITO DA FORÇA-IÔNICA DA SOLUÇÃO NUTRITIVA NO DESENVOLVIMENTO, NAS TROCAS GASOSAS E NO ACÚMULO IÔNICO DE PLANTAS JOVENS DE (*Annona emarginata* (SCHLTDL.) H. RAINER) EM CULTIVO HIDROPÔNICO

Daniel Baron¹, Gisela Ferreira^{1,4}, Carmen Sílvia Fernandes Boaro^{1,2} João Domingos Rodrigues^{1,2}, Amanda Cristina Esteves Amaro², Martha Maria Mischan³

¹ Departamento de Botânica, Instituto de Biociências (IB), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” campus Botucatu. Distrito de Rubião Júnior s/n, caixa postal: 510.

² Departamento de Horticultura, Faculdade de Ciências Agrônomicas (FCA), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” campus Botucatu. Rua José Barbosa de Barros, nº 1780, caixa postal: 237.

³ Departamento de Bioestatística, Instituto de Biociências (IB), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” campus de Botucatu. Caixa postal: 510.

⁴ Autor para correspondência (gisela@ibb.unesp).

Resumo: O presente estudo teve como objetivo testar a hipótese de que diferentes forças-iônicas da solução nutritiva completa nº 2 de Hoagland e Arnon (1950) afetam o desenvolvimento vegetativo, as trocas gasosas e o acúmulo iônico nas plantas jovens de araticum-de-terra-fria. Para tanto, as plantas jovens foram mantidas em cultivo hidropônico com 25%, 50%, 75% e 100% da força-iônica da solução nutritiva, durante 224 dias. Foram avaliados os dados biométricos do vegetal, trocas gasosas (fotossíntese) com auxílio do equipamento de sistema aberto de fotossíntese e transpiração (LI-6400, LI-COR, Lincoln, NE, USA) e determinação do acúmulo de nutrientes. Os maiores acúmulos de nitrogênio, fósforo e potássio foram observados com plantas mantidas em 50, 75 e 100%, enquanto com 25% houve redução significativa do acúmulo iônico de todos os minerais estudados. O cálcio, magnésio e enxofre apresentaram maior acúmulo em 50 e 75%, diferente do observado com 25 e 100% quando se obteve diminuição significativa de acúmulo destes elementos. O efeito das diferentes forças-iônicas também foi verificado nos parâmetros das trocas gasosas, quando 25% e 100% promoveram as menores taxas de assimilação de carbono e, portanto menor fotossíntese, o que resultou em menor desenvolvimento vegetal. As forças-iônicas de 50% e 75% foram mais efetivas para a obtenção de maior produtividade primária do vegetal. Concluímos que há relação direta entre variações da força-iônica na solução nutritiva e as variáveis de desenvolvimento e que o araticum-de-terra-fria apresenta melhores respostas quando mantido em forças-iônicas intermediárias no cultivo hidropônico.

Palavras-chave: Annonaceae, cultivo sem solo, força-iônica, fotossíntese, análise foliar.

EFFECT OF IONIC STRENGTH OF NUTRIENT SOLUTION ON DEVELOPMENT, GAS EXCHANGE AND IONIC ACCUMULATION IN *Annona emarginata* (Schltdl.) H. Rainer SEEDLINGS UNDER HYDROPONIC CULTURE

Daniel Baron¹, Gisela Ferreira^{1,4}, Carmen Sílvia Fernandes Boaro^{1,2} João Domingos Rodrigues^{1,2},
Amanda Cristina Esteves Amaro², Martha Maria Mischan³

¹Department of Botany, Institute of Biosciences (IB), São Paulo State University “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu Campus. P.O. Box: 510.

²Department of Horticulture, School of Agronomical Sciences (FCA), São Paulo State University “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu Campus. P.O. Box: 237.

³Department of Biostatistics, Institute de Biosciences (IB), São Paulo State University “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu Campus. District of Rubião Júnior, P.O. Box: 510.

⁴E-mail address: gisela@ibb.unesp

Abstract: The present study aimed to test the hypothesis that different ionic strengths of complete nutrient solution no. 2 of Hoagland and Arnon (1950) affect the vegetative development, the gas exchange and the ionic accumulation in “araticum-de-terra-fria” seedlings. Thus, seedlings were hydroponically grown under 25, 50, 75 and 100% ionic strength of the nutrient solution for 224 days. Evaluations included biometric variables, gas exchange (photosynthesis and transpiration) by using the open system (LI-6400, LI-COR, Lincoln, NE, USA) and nutrient accumulation. Nitrogen, phosphorus and potassium were mostly detected for plants grown under 50, 75 and 100% strength, whereas under 25% there was a significant decrease in the accumulation of all studied minerals. Calcium, magnesium and sulfur showed higher accumulation under 50 and 75% and a significant decrease under 25 and 100% strength. The effect of different ionic strengths was also observed for gas exchange parameters: 25 and 100% led to the lowest CO₂ assimilation rate and, therefore, lower photosynthesis, resulting in lower plant development. The ionic strengths 50 and 75% were more effective in leading to higher primary productivity. There is a direct relationship between ionic strength variation in the nutrient solution and development; in addition, “araticum-de-terra-fria” seedlings present better responses when kept under intermediate ionic strengths in the hydroponic culture.

Keywords: Annonaceae, soilless culture, ionic strength, photosynthesis, leaf analysis.

Introdução

A espécie *Annona emarginata* (SCHLTDL.) H. Rainer (Rainer 2007) pertence à família Annonaceae, é popularmente conhecida como araticum-de-terra-fria, comporta-se bem em solos secos, têm resistência a solos úmidos, às doenças fúngicas presentes no solo (*Phytophthora nicotianae*, *Pythium* sp., *Rhizoctonia solani*) e é adaptada a locais situados a 950m acima do nível do mar (Tokunaga 2005, Rainer 2007). Quando utilizado como portaenxerto para espécies comerciais como a atemóia (*Annona squamosa* L. x *Annona cherimola* Mill.) e a cherimóia (*Annona cherimola* Mill.) o araticum-de-terra-fria proporciona maior compatibilidade entre enxerto e portaenxerto, vigor à copa, resistência a fungos, a podridão de raízes e brocas que atacam o colo das plantas (Tokunaga 2005).

Como a espécie tem sido utilizada para portaenxerto e as mudas são produzidas a partir de observações de campo, surge a necessidade de compreender como as alterações nutricionais podem afetar o desenvolvimento inicial das plantas, a fim de subsidiar o sistema produtivo desde a fase de produção do portaenxerto no viveiro. Desta forma, a primeira etapa para formulação de soluções nutritivas ideais para uma determinada espécie é o entendimento de fatores envolvidos na absorção nutricional (Gorbe e Calatayud 2010).

De acordo com Gutschick (1997) a nutrição mineral exerce papel fundamental na fotossíntese, uma vez que as plantas requerem os macronutrientes e micronutrientes em alguma etapa do processo fotossintético (Marschner 1995, Maathuis 2009). Embora a função destes elementos seja bem investigada nos mecanismos fotossintéticos (Marschner 1995, Robinson et al. 2000, Bailey et al. 2002, Barber 2003, Cornah et al. 2003, Ramanian et al. 2004, Epstein & Bloom 2006, Pilon et al. 2006, Kusunoki 2007, Hansch e Mendel 2009, Maathuis 2009) a revisão de literatura realizada pelos autores não encontrou nenhum relato com trocas gasosas em plantas de araticum-de-terra-fria cultivadas em soluções nutritivas, todavia, alguns esforços foram realizados para elucidar as trocas gasosas em cultivo sem solo para outras espécies anonáceas em diferentes condições ambientais (Higuchi et al. 1998, Higuchi et al. 1999, Ojeda et al. 2004a, Ojeda et al. 2004b).

O emprego da análise foliar como diagnose do estado nutricional de plantas baseia-se na premissa fundamental de existência de correlações significativas entre teores de nutrientes determinados nas amostras e o crescimento vegetal ou os componentes de produção da cultura (Brizola et al. 2005), uma vez que as folhas são os centros metabólicos mais intensos, nos quais as alterações fisiológicas em razão de distúrbios nutricionais tornam-se mais evidentes (Proebsting e Warner 1954, Barros 1982, Malavolta et al. 1997).

Neste estudo, nós examinamos os efeitos de diferentes forças-iônicas da solução nutritiva completa nº2 de Hoagland e Arnon (1950) nas trocas gasosas, desenvolvimento vegetativo e no acúmulo nutricional em plantas de araticum-de-terra-fria (*Annona emarginata* (SCHLTDL.) H. Rainer).

Material e Métodos

Material vegetal

A espécie araticum-de-terra-fria (*Annona emarginata* (SCHLTDL.) H. Rainer) foi semeada em bandejas de poliestireno, preenchidas com substrato vermiculita, e quando as plantas jovens apresentaram de 7 a 10 cm (altura) foram transplantadas para potes plásticos com volume de 1.5 litros preenchidos com solução nutritiva arejada ininterruptamente, em casa de vegetação, no Departamento de Botânica, Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Câmpus Botucatu-SP, Brasil

Tratamentos

Os tratamentos foram constituídos pela variação da concentração iônica (forças-iônicas) da solução nutritiva completa nº2 de Hoagland e Arnon (1950), a partir da diluição da solução completa em água desmineralizada a 25% ao que denominou-se 25%FI (CEa de $0.50 \pm 0.2 \text{ mS cm}^{-1}$) e assim sucessivamente, obtendo-se 50%FI (CEa de $1.00 \pm 0.2 \text{ mS cm}^{-1}$); 75%FI - (CEa de $1.5 \pm 0.02 \text{ mS cm}^{-1}$); 100%FI (CEa de $2.0 \pm 0.02 \text{ mS cm}^{-1}$) (testemunha). O volume dos sais utilizados como fontes de macronutrientes ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$, KNO_3 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ e $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) foram 0.25, 1.50, 1.0 e 0.5 ml L^{-1} , respectivamente, no tratamento 25%FI; 0.5, 3.0, 2.0 e 1.0 ml L^{-1} no tratamento 50%FI; 0.75, 4.50, 3.0 e 1.50 ml L^{-1} no tratamento 75%FI e 1.0, 6.0, 4.0 e 2.0 ml L^{-1} no tratamento controle 100%FI. Para as fontes de micronutrientes (H_3BO_3 , $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, $\text{H}_2\text{MoO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, Fe-E.D.T.A. e $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) foram utilizados 0.25 ml L^{-1} de cada sal no tratamento 25%FI; 0.50 ml L^{-1} no tratamento 50%FI; 75 ml L^{-1} no tratamento 75%FI e 1 ml L^{-1} no tratamento 100%FI.

Tabela 1. Composição nutricional basal das diferentes forças-iônicas da solução nutritiva completa nº2 de Hoagland e Arnon (1950) empregadas no cultivo de plantas jovens de araticum-de-terra-fria

Compostos utilizados	Solução Estoque (g L ⁻¹)	Tratamentos			
		25%FI (mM L ⁻¹)	50%FI (mM L ⁻¹)	75%FI (mM L ⁻¹)	100%FI (mM L ⁻¹)
Macronutrientes ⁽¹⁾					
NH ₄ H ₂ PO ₄ (M)	115.0	0.119	0.237	0.474	0.633
KNO ₃ (M)	101.1	0.840	1.680	2.52	3.36
Ca(NO ₃) ₂ .4H ₂ O (M)	236.1	0.974	1.948	3.896	5.194
MgSO ₄ .7H ₂ O (M)	246.5	0.508	1.017	2.034	2.712
Micronutrientes ⁽¹⁾					
		25%FI (μM L ⁻¹)	50%FI (μM L ⁻¹)	75%FI (μM L ⁻¹)	100%FI (μM L ⁻¹)
H ₃ BO ₃	2.86	2.949	5.899	11.798	15.730
MnCl ₂ .4H ₂ O	1.81	1.856	3.713	7.425	9.9
ZnSO ₄ .7H ₂ O	0.22	0.227	0.454	0.908	1.2
CuSO ₄ .5H ₂ O	0.08	0.083	0.165	0.330	0.440
H ₂ MoO ₄ .H ₂ O	0.02	0.021	0.041	0.083	0.110
Solução Fe ⁽²⁾					
		25%FI (mM L ⁻¹)	50%FI (mM L ⁻¹)	75%FI (mM L ⁻¹)	100%FI (mM L ⁻¹)
Fe-E.D.T.A.	26.1	0.027	0.054	0.108	0.144
FeSO ₄ .7H ₂ O	24.9	0.026	0.051	0.103	0.137

(M) = Molar; ⁽¹⁾ = diluição em água destilada e volume completado a 1 litro; ⁽²⁾ = Diluição em 700 mL de água destilada contendo 268 mL de NaOH (40g/L) e volume completado a 1 litro.

A condutividade elétrica (EC) da solução nutritiva foi monitorada diariamente empregando-se condutivímetro de bancada da marca DIGIMED[®] modelo CD-21, assim como o p.H., ajustado diariamente a 6.0 ± 0.5 com o auxílio de peagâmetro de bancada da marca DIGIMED[®] modelo DMPH-3. A solução nutritiva era renovada semanalmente ou quando os intervalos de segurança na solução nutritiva para cada tratamento alteravam-se (± 0.2 mS cm⁻¹ do valor original empregado em cada tratamento), além da utilização de água destilada (< 0.1 mS cm⁻¹) para reposição da água evapotranspirada. O controle de pragas nas plantas foi realizado por catação manual (cochonilhas) e também pela utilização da “calda de fumo” conhecido como inseticida natural que não representa nenhum risco ao ambiente. Aos 142 dias após o transplântio (DAT) optou-se pela poda de ramos “ladroes”, prática convencional em viveiros de produção de mudas (Alcorn et al. 2008), a fim de que o excesso foliar não se tornasse um forte dreno e prejudicasse o desenvolvimento do ramo principal.

Trocas gasosas foliares

A avaliação das trocas gasosas foi realizada utilizando-se equipamento de sistema aberto de fotossíntese e transpiração com analisador de CO₂ e vapor d’água por radiação infra-vermelha (LI-6400, LI-COR, Lincoln, NE, USA). Essas medidas foram realizadas no período das 9:00 às 11:00h em dia ensolarado. As medidas foram realizadas aos 224 DAT, em 5 plantas (repetições) por tratamento, nas

quais foram escolhidas e padronizadas as 2ª ou 3ª folhas completamente expandidas. As características de trocas gasosas que analisadas foram: taxa de assimilação de CO₂ (A_{net} , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$), condutância estomática (g_s , $\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) e taxa de transpiração (E , $\text{mmol vapor d'água m}^{-2}\text{s}^{-1}$), adotando-se $1700 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (PAR) de luminosidade. A eficiência do uso da água (WUE , $\mu\text{mol CO}_2 (\text{mmol H}_2\text{O})^{-1}$) foi determinada através da relação entre assimilação de CO₂ e taxa de transpiração (A_{net}/E), descrita por Berry e Downton (1982) e a eficiência instantânea de carboxilação (A_{net}/C_i) determinada através da metodologia descrita por Von caemmerer e Farquhar (1981).

Mensuração do crescimento vegetal

Aos 224 DAT foi mensurado o número de folhas, diâmetro do caule (mm) com paquímetro digital ($\pm 0.01 \text{ mm}$) da marca Calyper®, altura (cm) e área foliar (cm^2) com o auxílio de integralizador de área foliar (LI-COR® modelo LI-3100). Todo o material vegetal foi lavado em água desmineralizada e seco em estufa com circulação forçada de ar à temperatura de 65°C , até peso constante para obtenção da massa de matéria seca de folha, caule, raiz em gramas mensurada com auxílio de balança analítica Ohaus® tipo Analytical Standard com sensibilidade de até 0.001 mg . O material foliar foi armazenado e encaminhado para as determinações químicas dos teores minerais.

Análise foliar da nutrição mineral

A determinação dos teores dos nutrientes nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) presentes nas folhas foram realizadas de acordo com a metodologia descrita por Malavolta et al. (1997), no Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas do Departamento de Recursos Naturais/Ciências do Solo da Faculdade de Ciências Agrônômicas - (FCA), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP)/Campus de Botucatu-SP.

Análise estatística

Para o gerenciamento dos dados, operações matemáticas simples e a confecção de gráficos foi utilizado o software Microsoft Excel 2007. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($P \leq 0.05$), utilizando o programa SAS (SAS institution, Cary, NC.)

Resultados

Os dados climatológicos registrados dos 206 aos 224 DAT em casa de vegetação estão apresentados na figura 1a e 1b.

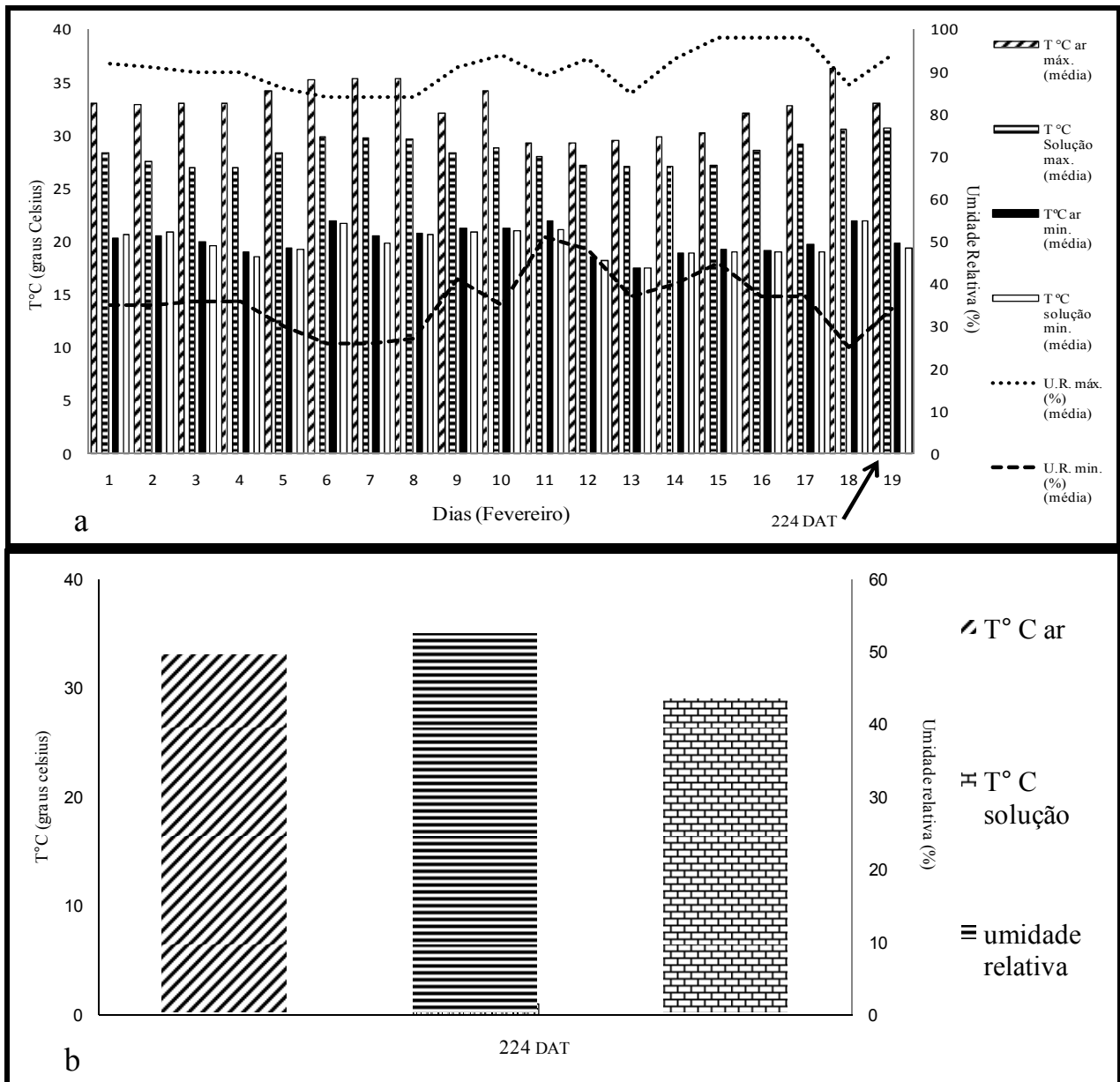


Figura 1. Dados ambientais em casa de vegetação registrados ao longo do mês de fevereiro no cultivo de plântulas de araticum-de-terra-fria submetidas a diferentes forças iônicas da solução nutritiva completa n°2 de Hoagland e Arnon (1950: (a) valores médios da temperatura máxima e mínima do ar (T°C Ar máx. e T°C Solução mín.), umidade relativa máxima (U.R. máx) e mínima (UR mín) e temperatura máxima e mínima da solução nutritiva (T°C solução max e T°C solução min) ao longo do período experimental; (b) valores médios da umidade relativa e da temperatura do ar e solução nutritiva na avaliação das trocas gasosas. DAT (Dias após o transplantio).

Crescimento vegetal

A variação da força-iônica provocou alterações significativas no desenvolvimento do vegetal (tabela 3). As plantas cultivadas em 75%FI apresentaram maiores valores para altura, número de folhas, área foliar, massa de matéria seca de folha, de caule, de raiz e total, sem diferir de 50%FI em relação à massa de matéria seca de caule, de raiz e total (tabela 3). As plantas cultivadas em 25%FI foram significativamente menores, não diferindo das cultivadas em 100% quando se refere a número de folhas, área foliar e massa de matéria seca de folha, caule, raiz e total.

Nós observamos, portanto, que 75% de força-iônica foi suficiente para promover incrementos relacionados às medidas foliares, diferindo de todos os tratamentos, mas quando a análise se refere a massa de matéria seca (exceto de folha), o que significa maior produtividade primária, os valores não diferem de 50%FI. Além disso, apesar da maior altura observada com 75%FI, foi com o uso de 50%FI que as plantas apresentaram maior diâmetro do caule, o que facilita a realização da enxertia e portanto justifica seu uso nos viveiros para a produção de portaenxerto.

Trocas gasosas foliares

As trocas gasosas variaram entre os tratamentos, com exceção da eficiência do uso da água (*WUE*) (figura 2 IV). As plantas submetidas aos tratamentos 25%FI e 100%FI apresentaram taxas de assimilação de carbono (A_{net}) reduzidas quando comparadas com as plantas cultivadas em 75%FI, nas quais se observou os maiores valores de A_{net} (figura 2 I). A condutância estomática (*g_s*) e a transpiração (*E*) das plantas cultivadas em 75%FI não diferiram das plantas cultivadas em 50%FI e foram maiores a dos demais tratamentos (figura 2 II e 2 III, respectivamente). A maior concentração de *C_i* e menor eficiência instantânea de carboxilação foram observadas com 100% (figura 2 V e 2 VI, respectivamente).

Tabela 2. Crescimento vegetal de plantas jovens de araticum-de-terra-fria cultivadas em diferentes forças-iônicas da solução nutritiva completa n°2 de Hoagland e Arnon (1950) aos 224 DAT (dias após o transplante). Dados são médias (\pm S.E.) e os valores foram determinados com cinco plantas por tratamento ($n=5$). Letras iguais em cada linha não diferem significativamente ($P \leq 0.05$).

Variáveis Tratamentos	Nutrient treatment				<i>F</i>	<i>P</i> > <i>F</i>	<i>C.V.</i> (%)
	25%FI	50%FI	75%FI	100%FI			
Diâmetro (mm)	7.43 \pm 0.36c	10.16 \pm 0.50a	8.93 \pm 0.19b	8.68 \pm 0.39b	10.94	0,0004	8.6
Número de folhas (unidade)	14.20 \pm 1.29b	16.00 \pm 0.71b	38.20 \pm 4.01a	15.60 \pm 0.84b	34.9	< 0,0001	20.8
Altura (cm)	28.80 \pm 1.38c	39.40 \pm 0.84b	58.10 \pm 2.99a	42.68 \pm 2.07b	46.31	< 0,0001	9.42
Área foliar (cm ²)	94.78 \pm 3.90b	164.63 \pm 29.31b	556.81 \pm 89.48a	170 \pm 26.70b	22.91	< 0,0001	39.7
Massa de matéria seca de folha (g)	0.6238 \pm 0.09b	1.3833 \pm 0.38b	3.1455 \pm 0.29a	1.2684 \pm 0.24b	20.08	< 0,0001	33.6
Massa de matéria seca de caule (g)	0.8954 \pm 0.07b	2.2005 \pm 0.24a	2.0384 \pm 0.24a	1.4893 \pm 0.27ab	9.38	0,0008	26.3
Massa de matéria seca de raiz (g)	1.3356 \pm 0.18b	2.3596 \pm 0.42a	2.4465 \pm 0.41a	1.7088 \pm 0.31ab	3.01	0,0313	34.9
Massa de matéria seca total (g)	2.8548 \pm 0.76b	5.9434 \pm 0.96ab	7.6310 \pm 1.23a	4.4670 \pm 0.37ab	10.76	0,0004	27.0

Nós observamos, portanto que com o uso de 100% da força-iônica, as plantas reduziram a taxa de assimilação de CO₂ (figura 2 I) principalmente pelo fato da baixa eficiência instantânea de carboxilação (figura 2 VI), que resultou em maior acúmulo de CO₂ interno (figura 2 V) dificultando a entrada de mais CO₂. Como o CO₂ interno não estava sendo utilizado no processo fotossintético com a mesma eficiência observada com o uso de 50 e 75% de força-iônica (figura 2 VI) acabou acumulando (figura 2 V) o que provocou redução da taxa de assimilação de CO₂ (figura 2 I) e conseqüentemente redução na condutância estomática, uma vez que a difusão de CO₂ é dependente da variação de seu gradiente químico externo e interno da folha. Resultados semelhantes aos obtidos com 100% de força-iônica são verificados com 25% força-iônica, porém com esta força-iônica as reduções fotossintéticas foram menores.

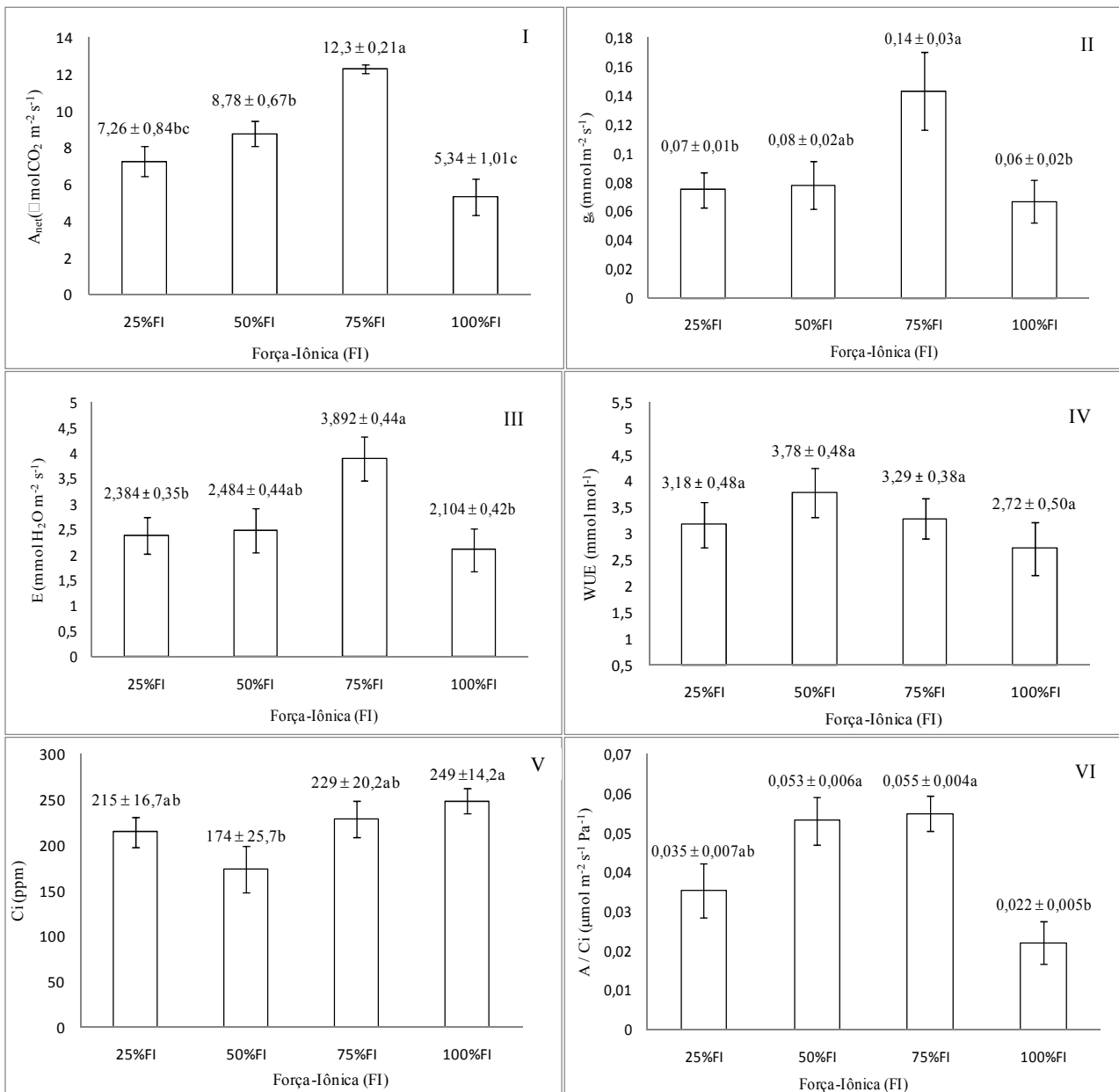


Figura 2. (I) Taxa de assimilação líquida de carbono (A_{net}); (II) Condutância estomática (g_s); (III) Taxa de transpiração (E); (IV) Eficiência do uso da água (WUE); (V) Concentração de carbono interno na câmara subestomática; (VI) Eficiência instantânea de carboxilação (A_{net}/C_i) de plantas jovens de araticum-de-terra-fria cultivadas em diferentes forças-iônicas da solução nutritiva completa nº2 de Hoagland e Arnon (1950) aos 224 DAT (Dias Após o Transplântio). Barras verticais indicam S.E. ($n=5$). Colunas seguidas de mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0.05$). *Análise foliar da nutrição mineral*

As plantas jovens de araticum-de-terra-fria cultivadas em 25%FI apresentaram os menores valores de acúmulo de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K) e cálcio (Ca) no tecido foliar por g planta⁻¹. O comportamento mais específico foi observado com o cálcio, uma vez que houve acúmulo significativo quando as plantas foram mantidas em 50%FI, sem diferir de 75%FI, seguido por plantas mantidas em 100% até a obtenção do menor acúmulo, nas plantas em 25%FI. Magnésio e enxofre acumularam-se de modo similar, com os maiores valores em 50%FI e 75%FI e reduções significativas com o emprego da menor e da maior força-iônica (tabela 4).

Tabela 4. Concentração iônica foliar de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre em g planta⁻¹ (massa seca) determinada em plantas jovens de araticum-de-terra-fria cultivadas em diferentes forças-iônicas da solução nutritiva completa nº2 de Hoagland e Arnon (1950) aos 224 DAT. Dados são as médias (\pm S.E.) e cada valor foi determinado com 4 plantas por tratamento ($n=4$). Letras iguais em cada linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($P \leq 0.05$).

g planta ⁻¹	Tratamentos				F	P > F	C.V. (%)
	25%FI	50%FI	75%FI	100%FI			
Nitrogênio	0.038 \pm 0.008b	0.098 \pm 0.014a	0.098 \pm 0.017a	0.076 \pm 0.010a	16.16	< 0.001	30.52
Fósforo	0.004 \pm 0.001b	0.007 \pm 0.002a	0.008 \pm 0.001a	0.007 \pm 0.001a	9.89	< 0.001	37.63
Potássio	0.032 \pm 0.007b	0.039 \pm 0.007a	0.044 \pm 0.007a	0.045 \pm 0.011a	7.16	< 0.001	38.13
Cálcio	0.018 \pm 0.003c	0.035 \pm 0.005a	0.029 \pm 0.004ab	0.027 \pm 0.005b	20.94	< 0.001	35.05
Magnésio	0.003 \pm 0.001b	0.004 \pm 0.001a	0.005 \pm 0.001a	0.003 \pm 0.001b	17.18	< 0.001	37.17
Enxofre	0.003 \pm 0.001b	0.005 \pm 0.001a	0.005 \pm 0.001a	0.004 \pm 0.001ab	12.20	< 0.001	30.20

Discussão

O primeiro passo para a formulação de soluções nutritivas adequadas seria o entendimento de aspectos fisiológicos visando condições mais propícias para que os mecanismos fisiológicos ocorram com máxima eficiência (Habermann et al. 1999, Machado 2005). Neste contexto, os resultados demonstram clara relação entre os parâmetros das trocas gasosas e o crescimento das plantas com as variações da força-iônica da solução.

Vale lembrar que o acesso de CO₂ atmosférico às células fotossintéticas do mesófilo ocorre através da abertura estomática e, portanto, variações na condutância estomática (g_s) podem afetar tanto a assimilação de CO₂ (Habermann 2004) quanto à transpiração (Raschke 1979, Farquhar e Sharkey 1982). Desta forma, os maiores valores médios de assimilação de CO₂ (A_{net}) e de perdas por transpiração (E) foram obtidos nas plantas que apresentavam maior condutância estomática (g_s); o que resultou em maior desenvolvimento da espécie (figura 2 e tabela 3). Este comportamento também foi encontrado por

George et al. (1990) e Ojeda et al. (2004a) em plantas jovens de atemóia, por Higuchi et al. (1998) e Higuchi et al. (1999) em cherimóia e Ojeda et al. (2004b) em graviola.. Porém cabe ainda acrescentar que, a entrada de CO₂ independe do fluxo da transpiração, sendo, portanto difusões independentes (Larcher 2000).

Deste modo, quando o tratamento proporciona condições de elevada condutância (g_s), a taxa de assimilação de CO₂ é elevada, mas depende da utilização do CO₂ interno para a síntese orgânica, o que manterá a variação do gradiente químico do CO₂, garantindo sua aquisição pela folha. Este fato é observado principalmente no tratamento com 75% na qual há elevada taxa de assimilação de CO₂ (A_{net}) e elevada eficiência de carboxilação C_i e A_{net}/C_i (Figura 2I, V e VI).

Ao se observar tratamento de menor eficiência, como o 100% e 25% de força-iônica, verifica-se que há menor g_s , menor A_{net} , menor E e baixa A_{net}/C_i , no entanto, a concentração de carbono interno na câmara subestomática (C_i) é elevada, o que significa que o CO₂ que foi assimilado não está sendo utilizado efetivamente na síntese orgânica e portanto se acumulou.

No entanto, com o uso de 50% ocorre um fato interessante em relação a 75%FI, a A_{net} , é reduzida apesar de reduções não significativas em g_s e E , mas a eficiência da Rubisco continua elevada da mesma forma que em plantas cultivadas em 75%FI. Isto demonstra que mesmo com menor taxa de entrada de CO₂ o aparato fotossintético continuou funcionando, sem diferenças significativas entre 50% e 75%FI (Figura 2 VI).

Os valores de A_{net} observados de 5,3 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ a 12,3 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ são próprios de espécies perenes que apresentam metabolismo C₃, principalmente quando se refere a espécies não caducifólias, nas quais as taxas de assimilação de carbono são menores (Reich e Walters 1992, Cornelissen et al. 1997, Reich et al. 1997). Outra característica típica de plantas C₃, observada com o araticum-de-terra-fria, é a sensibilidade da assimilação líquida de carbono às reduções não significativas na condutância estomática. Cabe salientar que as taxas de assimilação de carbono obtidas neste experimento foram superiores às taxas observadas por Núñez-Elisea et al. (1999) em plantas jovens de outras anonáceas em condições de campo (*Annona glabra*, *A. reticulata*, *A. muricata* L., *A. squamosa* L. e *Annona squamosa* L. x *A. cherimola* Mill.) cujos valores de A_{net} variaram de 3 a 4,5 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, em média.

Considerando-se, portanto que os elementos minerais atuam no processo fotossintético (Dietz e Harris 1997), a deficiência de elementos como o nitrogênio (Ciompi et al. 1996, Cruz et al. 2003, Huang et al. 2004, Zhao et al., 2005a, Raja Reddy e Matcha, 2010), fósforo (Lima et al. 1999) e magnésio (Ding et al. 2008) acarretam decréscimo da fotossíntese. Desta forma, a baixa eficiência

fotossintética observada nas plantas cultivadas em 25%FI pode ser atribuída pela estreita relação entre a capacidade fotossintética das folhas e a quantidade de nitrogênio das plantas (Evans e Terashima 1987, Lawlor 1994), uma vez que o nitrogênio é essencial para a formação de compostos não protéicos, entre eles os pigmentos fotossintéticos (Maathuis 2009). Von Caemmerer e Farquhar (1981) afirmam que a condutância estomática decresce com baixos níveis de nitrogênio e a redução na taxa de assimilação de carbono por sua vez, pode ser devida ao fechamento parcial dos estômatos (Cowan e Troughton 1971, Farquhar e Sharkey 1982). Portanto, baixas quantidades podem resultar em menor taxa assimilatória de carbono por unidade de área foliar (Sage e Percy 1987), conforme se constatou neste experimento (tabela 3, 4 e figura 2).

O nitrogênio é essencial na composição bioquímica de muitos compostos não protéicos tais como co-enzimas, metabólitos secundários, poliaminas e pigmentos fotossintéticos (Maathuis 2009; Marschner, 1995) além de que alguns estudos apontam que a concentração de nitrogênio desempenha papel fundamental na atividade da enzima Rubisco (Ribulose bi- fosfato carboxilase/oxigenase ou na quantidade desta enzima, essencial para a fotossíntese (Heitholt et al. 1991, Osaki et al. 1993). A assimilação líquida de carbono (A_{net}) está relacionada intimamente com o nível de N foliar (Lawlor et al. 1987, Sinclair e Horie 1989, Wolfe et al. 1988, Zhao et al. 2005b). O nitrato e o amônio (formas utilizadas para disponibilizar o nitrogênio em solução nutritiva) influenciam diretamente a absorção de todos os demais íons, ou seja, estão envolvidos na manutenção da eletro-neutralidade dentro da planta (Kotsiras et al. 2002).

Baixas concentrações de potássio também são responsáveis por diminuições na A_{net} em diferentes espécies conforme observado em algodão (Bednarz et al. 1998, Bednarz e Oosterhuis 1999) e hibisco (Egilla e Davies 1995). Basile et al. (2003) afirmam que a relação entre a concentração potássica foliar e as taxas fotossintéticas tem recebido menor atenção em espécies frutíferas decíduas. Este elemento está intimamente relacionado a regulação estomática, transpiração, osmorregulação entre outros (Marschner 1995, Mahouachi et al. 2006, Maathuis, 2009). Nossos resultados mostram que A_{net} diminui com a menor disponibilidade de potássio fornecida pelos tratamentos. Estudos anteriores feitos por Terry e Ulrich (1973b), Basile et al. (2003) e Bednarz e Oosterhuis (1999) apontam que a fotossíntese também decresce com a menor disponibilidade de potássio em plantas de batata-doce, algodão e amêndoas, respectivamente.

O fósforo é crucial para a manutenção das reações de fosforilação durante a assimilação de carbono (Ackerson 1985, Lawlor e Cornic 2002) além de auxiliar positivamente em outros parâmetros fotossintéticos como g_s e WUE (Bruck et al. 2000). Quantidade de fósforo abaixo dos níveis ideais para

as plantas resultam em decréscimos na taxa de assimilação de carbono devido a muitas etapas intermediárias da fixação de carbono envolverem açúcares fosfatados (Maathuis 2009, Taiz e Zeiger 2009).

O efeito do cálcio na fotossíntese aparenta ser bem menor que o de outros elementos requeridos nas taxas fotossintéticas tais como o fósforo (Terry e Ulrich 1973a) e o potássio (Terry e Ulrich 1973b). Além do mais, o cálcio desempenha papel estrutural nas células e sinaliza algumas respostas do vegetal ao meio, por exemplo, a regulação estomática (Allan et al. 1994, Mahouachi et al. 2006, McAinsh e Pittman 2009).

O magnésio desempenha papel fundamental na fotossíntese, particularmente na capacidade de promover as reações de luz no estroma (Liu et al. 2008, Maathuis 2009) além de ser requerido no empilhamento do tilacóide, nas enzimas envolvidas na assimilação de carbono e na partição de assimilados entre amido e açúcares (Baier e Latzko 1975, Barber 1982, Cammarano et al., 1972, Laing e Christeller 1976).

O enxofre é responsável pela formação de sulfolipídeos, que normalmente são encontrados em pequenas proporções nos tilacóides do cloroplasto (Epstein e Bloom 2006, Maathuis 2009). Porquê as membranas fotossintéticas requerem tais lipídeos ainda não está claro, mas é sugerido que eles sejam essenciais para a estabilização dos componentes fotossintéticos (Hammond et al. 2003). Algumas proteínas vegetais contêm enxofre, como as ferredoxinas, implicado na fotossíntese como na formação da clorofila e reações de transferência eletrônica (Epstein e Bloom, 2006; Hansch & Mendel, 2009).

Apesar do tratamento 100%FI ser o tratamento com as maiores quantidades de nutrientes disponíveis para as plantas em solução nutritiva, não houve nenhuma evidência de que o foi o mais apropriado para o crescimento vegetativo, pelo contrário. Ao se observar o que ocorreu com plantas cultivadas em 100%FI, verifica-se que a baixa taxa de A_{net} observada neste experimento e por Xu et al. (1995) e Schwarz et al. (2002) em tomateiro em diferentes forças-iônicas pode ser explicada pelo fato de que o aumento na condutividade elétrica (EC) da solução nutritiva pode acarretar prejuízos na cadeia de transporte eletrônico fotossintético (Marschner 1995) com efeitos negativos na taxa fotossintética (Schwarz et al. 2002), além de reduzir o desenvolvimento vegetativo, seja ele da planta inteira ou de partes individuais (Gomez et al. 1992, Al-Harbi 1995, Schwarz e Kuchenbuch 1997).

Deste modo reduções em A_{net} podem estar mais relacionadas com os danos no aparelho fotossintético e/ou sistema enzimático de fixação do CO_2 , causado pela grande quantidade de íons sobre o metabolismo do que, propriamente, com a redução da condutância estomática (Marschner 1995). Além disso, pode estar associado aos efeitos de salinidade do meio (Peyrano et al. 1997, Guimarães

2005, Wilson et al. 2006) e à ação dos íons sobre o protoplasma celular (Marschner 1995, Bezerra et al. 2005).

Encontrar uma solução ideal para o cultivo de plantas é desejável, mas é importante considerar uma série de fatores, pois geralmente o que afeta a absorção nutricional não é só a concentração média de nutrientes na solução, mas a concentração nutricional na superfície da raiz (Adams 1992, Gorbe e Calatayud 2010). Este fato está envolvido intimamente com a transpiração, pois todos os íons dissolvidos na solução nutritiva são transportados até a raiz através do fluxo de massa, o que é impulsionado pela taxa transpiratória (Mengel e Kirkby 2001).

Além dessas, outras questões devem ser observadas, pois é bem conhecido que a absorção de nutrientes variam com as estações climáticas ao longo do ano (Le Bot et al. 1998) e com o estágio vegetativo ou reprodutivo da espécie (Cabrera et al. 1995, Klaring et al. 1997, Kim et al. 2008). De acordo com (Larscher 2000) a disponibilidade de nutrientes para as plantas é afetada por diversos fatores, entre os quais o p.H. do meio em que se encontra os minerais (seja ele em solução ou no solo), fatores climáticos como a temperatura do ar (Adams 1992, Klaring et al. 1997, Pardossi et al. 2005) e a temperatura da solução nutritiva (Bassirrad 2000, Bougoul et al. 2000, Dong et al. 2001).

Tais fatores afetam, portanto, as relações entre os elementos minerais presentes na solução nutritiva, influenciando na absorção e no transporte, em particular, de um nutriente e indiretamente na absorção e a translocação de outros (Raij 1991, Grattan e Lamenta 1994). Neste experimento, o meio foi mantido em p.H. e EC de forma que todos os elementos estivessem disponíveis, sendo sua maior ou menor concentração definida pela porcentagem da força-iônica, mas sempre mantendo-se o balanço entre eles.

No presente estudo verificou-se que a taxa de assimilação de carbono do araticum-de-terra-fria com 50% FI ($8,8\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) é semelhante ao observado em plantas de *Annona squamosa* L. também mantidas em solução nutritiva de Hoagland e Arnon (1950) com metade da força-iônica ($8,0\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) (Marler e Zozor 1996). Salienta-se, portanto que as forças-iônicas de 50% e 75% da solução nutritiva nº2 de Hoagland e Arnon (1950) foram mais efetivas para que os mecanismos relacionados à fotossíntese atingissem a máxima eficiência. Tal constatação está de acordo com a proposta em utilizar concentrações mais baixas que as concentrações padrões, conforme proposto por Zheng et al. (2005) e Rouphael et al. (2008) com redução de 50% dos macro e micronutrientes na solução nutritiva sem prejuízos no desenvolvimento de espécies como gerânio e gérbera, respectivamente.

No geral, as diferentes forças-iônicas empregadas resultaram em diferenças significativas nas variáveis do crescimento vegetal, o que pode ser afirmado por alguns trabalhos envolvendo outras espécies anonáceas, por exemplo, Avilán e Leal (1984) e Fonseca e Muniz (1992), os quais afirmam que as anonáceas respondem a diferentes concentrações de fertilizantes minerais.

Verifica-se que, pelos resultados, o tratamento 25%FI afetou negativamente o crescimento das plantas em diâmetro, altura, número de folhas, área foliar e produção de massa seca. Comportamento semelhante foi observado por Avilán (1975) e Batista et al. (2003) em plantas de gravioleira cultivadas em solução nutritiva em diferentes níveis nutricionais.

Nós concluímos que estes dados fornecem importante base para modelar os efeitos de diferentes forças-iônicas em plantas jovens da espécie de araticum-de-terra-fria. As plantas jovens cultivadas em 50%FI e 75%FI apresentaram resultados mais satisfatórios tanto para as trocas gasosas como para o desenvolvimento da referida espécie.

AGRADECIMENTOS

Nós agradecemos a Coordenadoria de Assistência ao Pessoal do Ensino Superior (CAPES) pelo suporte financeiro para a realização deste trabalho.

REFERENCES

- Ackerson, R.C. 1985. Osmoregulation in cotton in response to water-stress: III. Effects of phosphorus fertility. *Plant Physiol.* 77:309-312.
- Adams, P. 1992. Crop nutrition in hydroponics. *Acta Hortic.* 323: 289-305.
- Al-Harbi, A.R. 1995. Growth and nutrient composition of tomato and cucumber seedlings as affected by sodium chloride salinity and supplemental calcium. *J. Plant Nutr.* 18:1403-1416.
- Alcorn, P.J., J. Bauhus, D.S Thomas, R.N. James, Smith, R.G.B. and A.B. Nicotra. 2008. Photosynthetic response to green crown pruning in young plantation-grown *Eucalyptus pilularis* and *E. cloeziana*. *Forest. Ecol. Manag.* 255:3827-3838.
- Allan, A.C., M.D. Fricker, J.L. Ward and M.H. Beale. 1994. Two transduction pathways mediate rapid effects of abscissic acid in *Comelina* guard cells. *Plant Cell* 6:1319-1328.
- Avilán, L. and F. Leal. 1984. Áreas potenciales para el desarrollo de diferentes espécies frutícolas en el país: IV. Anonáceas. *Rev. Fac. Agron.* 13:47-59.
- Avilán, L.R. 1975. Efecto de la omisión de los macronutrientes en el desarrollo y composición química de la guanábana (*Annona muricata* L.) cultivada en soluciones nutritivas. *agron. Trop.* 25:73-79.
- Baier, D, and E. Lutzko. 1975. Properties and regulations of C-1-fructose 1,6-diphosphatase from spinach chloroplasts. *Biochim. Biophys. Acta* 396:141-148.
- Bailey, S., E. Thompson, P.J. Nixon, P. Horton, C.W. Mullineaux, C. Robinson and N.H. Mann. 2002. A critical role for the Var2 FtsH homologue of *Arabidopsis thaliana* in the photosystem II repair cycle in vivo. *J. Biol. Chem.* 277:2006-11.

- Barber, J. 1982. Influence of surface charges on thylakoid structure and function. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 33:261-295.
- Barber, J. 2003. PhotosystemII : the engine of life. *Quart. Rev. Biophys.* 36:71-89.
- Barros, J.C da S.M. de. Teores de nutrientes e suas relações em tecidos de figueira (*Ficus carica* L.) cultivada em solução nutritiva. Msc Thesis (1982). 60f. Pelotas, RS: Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Pelotas.1982.
- Basile, B., E.J. Reidelb, S.A.Weinbaumb and T. DeJong. 2003. Leaf potassium concentration, CO₂ exchange and light interception in almond trees (*Prunus dulcis* (Mill) D.A. Webb). *Sci. Hort.* 98:185-194.
- Bassirirad, H., 2000. Kinetics of nutrient uptake by roots: responses to global change. *New Phytol.* 147: 155-169.
- Batista, M.M.F., I.J.M.Viégas, D.A.C. Frazão, M.A.A. Thomaz and R.C.L. Silva. 2003. Efeito da omissão de macronutrientes no crescimento, nos sintomas de deficiências nutricionais e na composição mineral em gravioleiras (*Annona muricata*). *Rev. Bras. Frut.* 25:315-128.
- Bednarz, C.W. and D.M. Oosterhuis. 1999. Physiological changes associated with potassium deficiency in cotton. *J. Plant Nutr.* 22:303-313.
- Bednarz, C.W., D.M. Oosterhuis and R.D. Evans. 1998. Leaf photosynthesis and carbon isotope discrimination of cotton in response to potassium deficiency. *Environ. Exp. Bot.* 39:131-139.
- Berry, J.A. and W.J.S. Downtown. 1982. Environmental regulation of photosynthesis. In: *Development carbon metabolism and plant productivity.* Academic press, New York. 263-343 p.
- Bezerra, M.A., C.F. Lacerda, J.T. Prisco and E. Gomes Filho. 2005. Crescimento e fotossíntese de plantas jovens de cajueiro anão-precoce sob estresse salino. *Rev. Bras. Eng. Agríc. Amb.* 9:90-94.
- Bougoul, S., R. Brun and A. Jaffrin. 2000. Nitrate absorption–concentration of Rosa hybrida cv. Sweet Promise grown in soilless culture. *Agronomie* 20:165-174.
- Brizola, R.M. De O., S. Leonel, M.A Tecchio, M.M. Mischan. 2005. Exportação de macronutrientes pelos ramos e frutas da figueira cultivada em função da adubação potássica. *Acta Sci. Agron.* 27:33-37.
- Cabrera, R.I., R. Y., Evans and J.L. Paul. 1995. Cyclic nitrogen uptake by greenhouse roses. *Sci. Hortic.* 63:57-66.
- Cammarano, P., A. Felsani, M. Gentile, C. Gualerzi, A. Romeo and G. Wolf. 1972. Formation of active hybrid 80-S particles from subunits of pea seedlings and mammalian liver ribosomes. *Biochim. Biophys. Acta* 281:625-642.
- Ciampi, S., E. Gentili, L. Guidi and G.F. Soldatini. 1996. The effect of nitrogen deficiency on leaf gas exchange and chlorophyll fluorescence parameters in sunflower. *Plant Sci.* 118:177-184.
- Cornah, J.E., M.J. Terry and A.G. Smith. 2003. Green or red: what stops the traffic in the tetrapyrrole pathway? *Trends Plant Sci.* 8:224-30.
- Cornelissen, J.H.C., M.J.A. Werger, P. Castro-díez, J.W.A. Van Rheenen and A.P. Rowland. 1997. Foliar nutrients in relation to growth, allocation and leaf traits in seedlings of a wide range of woody plant species and types. *Oecologia* 111:460-469.
- Cowan, I.R. and J.H. Troughton. 1971. The relative role of stomata in transpiration and assimilation. *Planta* 97:325-336.
- Cruz, J.L., P.R. Mosquim, C.R. Pelacani, W.L. Araújo, and F.M. DaMatta. 2003. Photosynthesis impairment in cassava leaves in response to nitrogen deficiency. *Plant Soil* 257: 417-423.
- Dietz, K.J., and G.C.Harris. 1997. Photosynthesis under nutrient deficiency. In: M. Pessaraki. (Ed.). *Handbook of Photosynthesis.* New York: Marcel Dekker. pp 951–976.
- Ding, Y.C., C.R. Chang, W. Luo, Y.S. Wu, X.L. Ren and P. Wang. 2008. High potassium aggravates the oxidative stress induced by magnesium deficiency in rice leaves. *Pedosphere* 18:316-327.

- Dong, S., C.F. Scagel, L. Cheng, L.H. Fuchigami, and P. Rygiewicz. 2001. Soil temperature and plant growth stage influence nitrogen uptake and amino acid concentration of apple during early spring growth. *Tree Physiol.* 21:541-547.
- Egilla, J.N. and J.F. Davies. 1995. Response of *Hibiscus rosa-sinensis* L. to varying levels of potassium fertilization: growth, gas exchange and mineral concentration. *J. Plant Nutr.* 18:1765-1783.
- Epstein, E. and A. Bloom. 2006. Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas. Planta, Londrina. 403 p.
- Evans, J.R. and I. Terashima. 1987. Effects of nitrogen nutrition on electron transport components and photosynthesis in spinach. *Aust. J. Plant. Physiol.* 14:281-292.
- Farquhar, G.D. and T.D. Sharkey. 1982. Stomatal conductance and photosynthesis. *Annu. rev. plant physiol.* 33:317-345.
- Fonseca, A.G. and I.A.F. Muniz. 1992. Informações sobre a cultura de espécies frutíferas nativas da região de cerrado. *Inf. Agrop.* 16:12-17.
- George, A.P., R.J. Nissen and C. Howitt. 1990. Effects of environmental variables and cropping on leaf conductance of custard apple (*Annona cherimola* x *Annona squamosa*) 'African Pride'. *Sci. Hortic.* 45:137-147.
- Gomez, I., J. Navarro-Pedreno and J. Mataix. 1992. The influence of saline irrigation on organic waste fertilisation on the mineral content (N, P, K, Na, Ca, and Mg) of tomatoes. *J. Sci. Food Agric.* 59:483-487.
- Gorbe, E., A. Calatayud. 2010. Optimization of Nutrition in Soilless Systems: A Review. *Adv. Bot. Res.* 53:1-230.
- Grattan, S.R. and M. Lamenta. 1994. Mineral nutrient acquisition and response by plants grown in saline environments. *In Handbook of Plant and Crop Stress.* Ed. M. Pessarakli, New York, pp 203-226.
- Guimarães, F.V. 2005. Respostas fisiológicas e bioquímicas em plantas de feijão de corda cv Pitiúba submetidas ao estresse com NaCl em diferentes concentrações de CaCl₂ e CaSO₄. Ph.D. thesis Fortaleza, CE: Universidade Universidade Federal do Ceará, 2005.176 p.
- Gutschick, V.P. 1997. Photosynthesis, Growth Rate, and Biomass Allocation *In Ecology in agriculture.* (Ed.). L.E. Jackson. Academic Press, Califórnia, p.448.
- Habermann, G. Trocas gasosas, relações hídricas e hormônios vegetais em laranjeiras-doce, infectadas por *Xylella fastidiosa*, em três regiões do Estado de São Paulo. 2004. 167f. Ph.D. (Thesis) - Instituto de Biociências de Botucatu Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2004.
- Habermann, G., E.C. Machado, J.D. Rodrigues and C.L. Medina. 1999. CO₂ assimilation, photosynthetic light response curves, and water relations of 'Pêra' sweet orange plants infected with *Xylella fastidiosa*. *Braz. J. Plant Physiol.* 15:79-87.
- Hammond, J.P., M.J. Bennett, H.C. Bowen, M.R. Broadley, D.C. Eastwood, S.T. May, C. Rahn, R. Swarup, K.E. Woolaway, P.J. White. 2003. Changes in gene expression in *Arabidopsis* shoots during phosphate starvation and the potential for developing smart plants. *Plant Physiol.* 132:578-596.
- Hansch, R. and R.R. Mendel. 2009. Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl). *Curr. Opin. Plant Biol.* 12:259-66.
- Heitholt, J.J., R.C. Johnson and D.M. Ferris. 1991. Stomatal limitation to carbon dioxide assimilation in nitrogen and drought-stressed wheat. *Crop Sci.* 31:135-139.
- Higuchi, H., N. Utsunomiya and T. Sakuratani. 1998. Effects of temperature on growth, dry matter production and CO₂ assimilation in cherimoya (*Annona cherimola* Mill.) and sugar apple (*Annona squamosa* L.) seedlings. *Sci. Hortic.* 73:89-97.

- Higuchi, H., T. Sakuratani and N. Utsunomiya. 1999. Photosynthesis, leaf morphology and shoot growth as affected by temperatures in cherimoya (*Annona cherimola* Mill.) trees. *Sci. Hortic.* 80:91-104.
- Hoagland, D.R. and D.I. Arnon. 1950. The water culture method for growing plants without soils. California Agricultural Experimental Station. Berkeley. 32 p.
- Huang, Z.A., D.A. Jiang, Y. Yang, J.W. Sun and S.H. Jin. 2004. Effects of nitrogen deficiency on gas exchange, chlorophyll fluorescence, and antioxidant enzymes in leaves of rice plants. *Photosynthetica* 42:357-364.
- Kim, W.S., M.Y. Roh and J.H. Lieth. 2008. Nutrient uptake potential of cut roses (*Rosa hybrida* L.) in soilless culture. *Acta Hortic.* 7:45-52.
- Klaring, H.P., D. Schwarz and A. Heibner. 1997. Control of nutrient solution concentration in tomato crop using models of photosynthesis and transpiration: a simulation study. *Acta Hort.* 450:329-334.
- Kotsiras, A., C.M. Olympios, J. Drosopoulos and H.C. Passam. 2002. Effects of nitrogen form and concentration on the distribution of ions within cucumber fruits. *Sci. Hortic.* 95:175-183.
- Kusunoki, M. 2007. Mono-manganese mechanism of the photosystem II water splitting reaction by a unique Mn₄Ca cluster. *Biochim. Biophys. Acta.* 1767:484-92.
- Laing, W.A and J.T. Christeller. 1976. A model for the kinetics of activation and catalysis of ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase. *Biochem. J.* 159:563-570.
- Larscher, W. 2000. *Ecofisiologia Vegetal*. RiMa, São Carlos. 529 p.
- Lawlor, D.W. 1994. Relation between carbon and nitrogen assimilation, tissue composition and whole plant function. *In A whole plant perspective on carbon-nitrogen interactions* Ed. J.R.a.E. Gamier. SPB Academic Publishing, The Hague, pp.47-60.
- Lawlor, D.W. and G. Cornic. 2002. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plant Cell Environ.* 25:275-294.
- Lawlor, D.W., A.T. Young, A.J. Keys and A.C. Kendall. 1987. Nitrate nutrition and temperature effects on wheat: photosynthesis and photorespiration of leaves. *J. Exp. Bot.* 38:393-408.
- Le Bot, J., S. Adamowicz, P. Robin, J.L. Andriolo and C. Gary. 1998. Modelling nitrate uptake by greenhouse tomato crops at the short and long time scales. *Acta Hortic.* 456:237-246.
- Lima, J.D., F.M. Da Matta and P.R. Mosquim. 1999. Leaf gas exchange and chlorophyll fluorescence parameters in *Phaseolus vulgaris* as affected by nitrogen and phosphorus deficiency. *Photosynthetica* 37:113-121.
- Liu, H., C. Ximing, C. Riyuan, S. Shiwei, S. Guangwen. 2008. Effects of magnesium deficiency on growth and photosynthesis of flowering chinese cabbage. *Acta Hortic.* 767:169-175.
- Maathuis, F.J. 2009. Physiological functions of mineral macronutrients. *Curr. Opin. Plant Biol.* 12: 250-258.
- Machado, E.C.S., P.T.; Medina, C.L. and F.V. Ribeiro. 2005. Respostas da fotossíntese de três espécies de citros a fatores ambientais. *Pesq. Agropec. Bras.* 40:1161-1170.
- Mahouachi, J., A.R. Socorro and M. Talon. 2006. Responses of papaya seedlings (*Carica papaya* L.) to water stress and rehydration: growth, photosynthesis and mineral nutrient imbalance. *Plant and Soil* 281:137-146.
- Malavolta, E., G.C. Vitti and S.A. Oliveira. 1997. *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. Piracicaba: Potafos. 319 p.
- Marler, T.E. and Y. Zozor. 1996. Salinity influences photosynthetic characteristics, water relations, and foliar mineral composition of *Annona squamosa* L. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 121:243-248.
- Marschner, H. 1995. *Mineral nutrition of higher plants*. San Diego: Academic Press. 889 p.
- McAinsh, M.R. and J.K. Pittman. 2009. Tansley review: Shaping the calcium signature. *New Phytol.* 181:275-294.

- Núñez-Elisea, R., B. Schaffer, J.B. Fisher, A.M. Colls and J.H. Crane. 1999. Influence of flooding on net CO₂ assimilation, growth, and stem anatomy of *Annona* species. *Ann. Bot.* 84:771-780.
- Ojeda, M., B. Schaffer and F.S. Davies. 2004a. Soil temperature, physiology, and growth of containerized *Annona* species. *Sci. Hortic.* 102:243-255.
- Ojeda, M., B. Schaffer and F.S. Davies. 2004b. Flooding, root temperature, physiology and growth of two *Annona* species. *Tree Physiol.* 24:1019-1025.
- Osaki, M., T. Shinano and T. Tadano. 1993. Effect of nitrogen, phosphorus, or potassium deficiency on the accumulation of ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase and chlorophyll in several field crops. *Soil Sci. Plant Nutr.* 39:417-425.
- Pardossi, A., F. Falossi, F. Malorgio, L. Incrocci and G. Bellocchi. 2005. Empirical models of macronutrient uptake in melon plants grown in recirculating nutrient solution culture. *J. Plant Nutr.* 27:1261-1280.
- Peyrano, G., E. Taleisnik, M. Quiroga, S.M. Forchetti and H. Tigier. 1997. Salinity effects on hydraulic conductance, lignin content and peroxidase activity in tomato roots. *Plant Physiol Biochem.* 35:387-393.
- Pilon, M., S.E. Abdel-Ghany, C.M. Cohu, K.A. Gogolin and H. Ye. 2006. Copper cofactor delivery in plant cells. *Curr. Opin. Plant Biol.* 9:256-63.
- Proebsting, E. L., M.R. Warner. 1954. The effect of fertilizers on yield, quality and leaf composition of figs. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 63:10-18.
- Raij, B.V. 1991. Fertilidade do solo e adubação. *Agronômica Ceres*, Piracicaba. 343 p.
- Rainer, H. 2007. Monographic studies in the genus *Annona* L. (Annonaceae): Inclusion of the genus *Rollinia* A.ST.-HIL. *Annual Naturhist Museum Wien.* 108B:191-205.
- Raja Reddy, K. and Matcha, S.K. 2010. Effects of nitrogen deficiency on plant growth, leaf photosynthesis, and hyper spectral reflectance properties in castor (*Ricinus communis*). *ASA Southern Branch, 2007. Annual Meeting.*
- Ramani, B., Z. H and P. J. 2004. Quantification and fatty acid profiles of sulfolipids in two halophytes and a glycophyte grown under different salt concentrations. *Z Naturforsch.* 59:835-842.
- Raschke, K. 1979. Movements using turgor mechanisms. *In Physiology of movements* Ed. W.F. Haupt. Springer-Verlag: Berlin. pp 383-441.
- Reich, P.B. and M.B. Walters. 1992. Leaf life-span in relation to leaf, plant, and stand characteristics among diverse ecosystems. *Ecol. Monogr.* 62:365-392.
- Reich, P.B., M.B. Walters and D.S. Ellsworth. 1997. From tropics to tundra: global convergence in plant functioning. *Proc. Acad. Natl. Sci. EUA.* 94:13730-13734.
- Robinson, H., Y-G. Gao, R. Sanishvili, A. Joachimiak and A.H.J. Wang. 2000. Hexahydrated magnesium ions bind in the deep major groove and the outer mouth of A-form nucleic acid duplexes. *Nucl Acid Res.* 28:1770-1776.
- Rouphael, Y., M.T. Cardarelli, E. Rea and G. Colla. 2008. The influence of irrigation system and nutrient solution concentration on potted geranium production under various conditions of radiation and temperature. *Sci. Hortic.* 118:328-337.
- Sage, R.F. and R.W. Pearcy. 1987. The nitrogen use efficiency of C₃, and C₄, plants. II. Leaf nitrogen, effects on the gas exchange characteristics of *Chenopodium album* (L.) and *Amaranthus retrofraxur* (L.). *Plant Physiol.* 84:959-963.
- Schwarz, D. and R. Kuchenbuch. 1997. Growth analysis of tomato in closed recirculating systems in relation to EC-value of the nutrient solution concentration. *Acta Hort.* 450:169-176.
- Schwarz, D., H.P. Klaring, M.W. Van Iersel and K.T. Ingran. 2002. Growth and Photosynthetic Response of Tomato to Nutrient Solution Concentration at Two Light Levels. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 127:984-990.

- Sinclair, T.R and T.Horie. 1989. Leaf nitrogen, photosynthesis, and crop radiation-use efficiency: a review. *Crop Sci.* 29:90-98.
- Taiz, L. and E. Zeiger. 2009. *Fisiologia vegetal*. Artmed, Porto Alegre. 819 p.
- Terry, N. and A. Ulrich. 1973b. Effects of potassium deficiency on the photosynthesis and respiration of leaves of sugar beet. *Plant Physiol.* 51:783-786.
- Terry, N. and A. Ulrich. 1973a. Effects of phosphorus deficiency on the photosynthesis and respiration of leaves of sugar beet. *Plant Physiol.* 51:43-47.
- Tokunaga, T. 2005. *A cultura da atemóia*. Cati, Campinas. 80 p.
- Viti, R. and F. Cinelli. 1993. Lime-induced chlorosis in quince rootstocks: methodological and physiological aspects. *J Plant Nutr.* 14:631-641.
- Von Caemmerer, S. and G.D. Farquhar. 1981. Some relationships between the biochemistry of photosynthesis and the gas exchange of leaves. *Planta.* 153:376-387.
- Wilson, C., S. Liu, S.M. Lesch and D.L. Suarez. 2006. Growth response of major USA cowpea cultivars II. Effect of salinity on leaf gas exchange. *Plant Sci.* 170:1095-1101.
- Wolfe, D.W., D.W. Henderson, T.C. Hsiao and A. Alvino. 1988. Interactive water and nitrogen effects on senescence of maize. II. Photosynthetic decline and longevity of individual leaves. *Agron. J.* 80:865-870.
- Xu, H-l., L. Gauthier and A. Gosselin. 1995. Effects of fertigation management on growth and photosynthesis of tomato plants grown in peat, rockwool and NFT. *Sci. Hortic.* 63: 11-20
- Zhao, D., K.R. Reddy, V.G. Kakani and V.R. Reddy. 2005a. Nitrogen deficiency effects on plant growth, leaf photosynthesis, and hyperspectral reflectance properties of sorghum. *Eur. J. Agron.* 22:391-403.
- Zhao, D., K.R. Reddy, V.G. Kakani, J.J. Read and S. Koti. 2005b. Selection of optimum reflectance ratios for estimating leaf nitrogen and chlorophyll concentrations of field-grown cotton. *Agron. J.* 97:89-98.
- Zheng, Y., T.H. Graham, S. Richard and M. Dixon. 2005. Can low nutrient strategies be used for pot gerbera production in closed-loop subirrigation? *Acta Hortic.* 691:365-372.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando a expansão das áreas de cultivo com espécies da família Annonaceae, o estudo de espécies potenciais para uso como portaenxerto é de grande importância. As principais anonáceas frutíferas comerciais (atemóia, fruta-do-conde) são muito susceptíveis a doenças de raízes e ao ataque de coleobrocas. Desta forma, o araticum-de-terra-fria (*Annona emarginata* (SCHLTDL.) H Rainer tem se mostrado no campo como boa alternativa na produção de portaenxerto, por apresentar resistência em relação às doenças, brocas e adequada compatibilidade enxerto-portaenxerto.

Neste contexto, pesquisas voltadas a compreender os mecanismos e as respostas fisiológicas da espécie em sua fase de planta jovem, cultivada em diferentes concentrações de nutrientes em meio hidropônico é fundamental para a adoção de técnicas nutricionais mais adequadas para que a planta possa expressar todo o seu potencial genético de produtividade primária, ainda em viveiro.

As plantas jovens da espécie araticum-de-terra-fria apresentaram desempenho vegetativo satisfatório ao serem cultivadas em forças-iônicas intermediárias da solução nutritiva completa nº2 de Hoagland & Arnon, o que parece ser estratégia de planta cultivada em solos pobres em nutrientes, uma vez que foi mais eficiente na aquisição de nutrientes em concentrações intermediárias, enquanto concentrações elevadas não foram benéficas ao seu desenvolvimento.

6. CONCLUSÕES

- ❖ Os dados obtidos fornecem importante base para modelar os efeitos de diferentes forças-iônicas em plantas jovens da espécie de araticum-de-terra-fria
- ❖ Há relação direta entre variações da força-iônica na solução nutritiva com as variáveis de desenvolvimento *Annona emarginata* (SCHLTDL.) H. Rainer
- ❖ As plantas jovens de araticum-de-terra-fria cultivadas em concentrações intermediárias de nutrientes (força-iônica) da solução nutritiva completa nº2 de Hoagland & Arnon (1950), como 50%FI e 75%FI, expressam mais adequadamente seu potencial fisiológico.
- ❖ O uso de soluções nutritiva de Hoagland & Arnon ajustada a 25% e 100% de força-iônica não permite que a planta expresse todo seu potencial genético de desenvolvimento vegetativo

7. REFERÊNCIAS³

ALALI, F.Q.; LIU, X.; MCLAUGHLIN, J.L. Annonaceous Acetogenins: Recent Progress. **Journal Natural Products**, v.62, n.3, p.504-540, 1999.

ALFONSI, E.L. **Avaliação do potencial para porta-enxerto de genótipos de coffea, por meio de características fisiológicas de crescimento, trocas gasosas fotossintéticas e nutrição mineral**. 2003. 87f. Dissertação (mestrado) - Agricultura tropical e subtropical - Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), Campinas, 2003.

ALLAN, AC, FRICKER, M.D, WARD, J.L, BEALE, M.H, TREWAVAS, A.J. Two Transduction Pathways Mediate Rapid Effects of Abscisic Acid in Commelina Guard Cells. **Plant Cell**, v.6, n.9, p.1319-1328, 1994.

ALONSO FILHO, M.; GUIMARÃES, G. N.; MALUF, W. R. **Cultivo hidropônico, uma alternativa para a produção de alface com eficiência e rentabilidade**. 1.ed. Lavras: UFLA, 1998. 8p.

ALVAREZ, R.C.F.; RODRIGUES, J.D.; MARUBAYASHI, O.M.; ALVAREZ, A.C.; CRUSCIOL, C.A.C. Análise de crescimento de duas cultivares de amendoim (*Arachis hypogaea* L.) **Acta Scientiarum Agronomy**, v.27, n.4, p.611-616, 2005.

ALVES, A.U.; PRADO, R.M.; GONDIM, A.R.O.; FONSECA, I.M.; CECÍLIO FILHO, A.B. Desenvolvimento e estado nutricional da beterraba em função da omissão de nutrientes. **Horticultura Brasileira**, v.26, n.2, p.292-295, 2008.

ANKELE, E.; KINDGREN, P.; PESQUET, E.; STRAND, A. In vivo visualization of Mg-Protoporphyrin IX, a coordinator of photosynthetic gene expression in the nucleus and the chloroplast. **Plant Cell**, v.19, n.6, p.1964-1979, 2007.

AVILÁN, L.R. Efecto de la omisión de los macronutrientes en el desarrollo y composición química de la guanábana (*Annona muricata* L.) cultivada en soluciones nutritivas. **Agronomia Tropical**, v.25, n.1, p.73-79, 1975.

AXELSSON, E.; LUNDQVIST, J.; SAWICKI, A.; NILSSON, S.; SCHRODER, I.; AL-KARADAGHI, S.; WILLOWS, R.D.; HANSSON, M. Recessiveness and dominance in barley mutants deficient in Mg-chelatase subunit D, an AAA protein involved in chlorophyll biosynthesis. **Plant Cell**, v.18, n.8, p.3606-3616, 2006.

³ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023**: Informação e documentação - Elaboração. Rio de Janeiro, 2002. 24p.

BAI, C.; REILLY, C.C.; WOOD, B.W. Nickel deficiency disrupts metabolism of ureides, amino acids, and organic acids of young pecan foliage. **Plant Physiology**, v.140, n.13, p.433-443, 2006.

BAILEY, S.; THOMPSON, E.; NIXON, P.J.; HORTON, P.; MULLINEAUX, C.W.; ROBINSON, C.; MANN, N.H. A critical role for the Var2 FtsH homologue of *Arabidopsis thaliana* in the photosystem II repair cycle in vivo. **Journal of Biological Chemistry**, v.2002, n.3, p.2006-2011, 2002.

BANCO IEA. **Previsões e estimativas das safras agrícolas**. São Paulo, 2002. Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br>>. Acesso em: 19 set. 2008.

BARBER, J. Influence of surface charges on thylakoid structure and function. **Ann. Rev. Plant Physiology**, v.33, p.261-295, 1982.

BARBER, J. Photosystem II: the engine of life. **Quarterly Reviews of Biophysics**, v.36, n.1, p.71-89, 2003.

BARBOSA FILHO, M.P. **Nutrição e adubação de arroz (sequeiro e irrigado)**. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. 129p. (Boletim Técnico, 9)

BARBOSA, Z.; SOARES, I.; CRISÓSTOMO, L.A. Crescimento e absorção de nutrientes por mudas de gravioleira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.25, n.3, p.519-522, 2003.

BARROS, J.C da S.M. de. **Teores de nutrientes e suas relações em tecidos de figueira (*Ficus carica* L.) cultivada em solução nutritiva**. 1982. 60f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 1982.

BATAGLIA, O.C.; FURLANI, A.M.C.; TEIXEIRA, J.P.F.; FURLANI, P.R.; GALLO, J.R. **Métodos de análise química de plantas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1983. 48p. (Boletim Técnico, 78).

BATISTA, M.M.F.; VIEGÁS, I.J.M.; FRAZÃO, D.A.C.; THOMAZ, M.A.A.; SILVA, R.C. L. Efeito da omissão de macronutrientes no crescimento, nos sintomas de deficiências nutricionais e na composição mineral em gravioleiras (*Annona muricata*, L.). **Revista Brasileira de fruticultura**, v.25, n.2, p.315-318, 2003.

BENINCASA, M.M.P. **Análise de crescimento de plantas (noções básicas)**. Fundação Nacional de Ensino e Pesquisa, Jaboticabal, Brasil. 2003. 41p.

BENINI, S.; RYPNIEWSKI, W.R.; WILSON, K.S.; MILETTI, S.; CIURLI, S.; MANGANI S. A new proposal for urease mechanism based on the crystal structures of the native and inhibited enzyme from *Bacillus pasteurii*: why urea hydrolysis costs two nickels. **Structure**, v.7, n.2, p.205-216, 1999.

BERRY, J.; BJORKMAN, O. Photosynthetic response and adaptation to temperature in higher plants. **Annual Review Plant Physiology**, v.31, p.491-543, 1980.

BETHKE, P.C.; GILROY, S.; JONES, R.L. Calcium and plant hormone action. In: DAVIES, P.J. **Plant hormones: physiology, biochemistry and molecular biology**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1995. p.298-317.

BETTIOL NETO, J.E.; PIO, R.; BUENO, S.C.S., BASTOS, D.C., SCARPARE FILHO, J.A. Enraizamento de estacas dos porta enxertos Araticum de terra fria (*Rollinia sp.*) e Araticum mirim (*Rollinia emarginata* Schlttdl.) para anonáceas. **Ciência Agrotecnológica**, Lavras, v.30, n.6, 2006. p.1077-1082.

BEEVERS, L.; HAGEMAN, R.H. Uptake and reduction of nitrate: bacteria and higher plants. In: LAUCHLI, A.; BIELESKI R.L., (Eds.). **Encyclopedia of Plant Physiology, New Series**. New York: Springer-Verlag, 1983. p.351-375.

BEZERRA, J.E.F.; LEDERMAN, I.E. Propagação vegetativa de anonáceas por enxertia. In: SÃO JOSÉ, A.R.; SOUZA, I.V.B.; MORAIS, O.M.; REBOUÇAS, T.N.H. (Eds.) **Anonáceas, produção e mercado (pinha, graviola, atemóia e cherimóia)**. Vitória da Conquista: DFZ/UESB, 1997. p.61-67.

BLACKMAN, G.E. **The application of the concepts of growth analysis to the assessment of productivity. Functioning on terrestrial ecosystems at the primary production level**. Paris: Eckardt, 1968. 243p.

BLEVINS, D.G, LUKASZEWSKI, K,M Boron in plant structure and function. **Annual Review Plant Physiology**, v.49, p.481-500, 1998.

BRADFIELD, E.G.; GUTTRIDGE, C.G. Effects of night-time humidity and nutrient solution concentration on the calcium content of tomato fruit. **Scientia Horticulturae**, v.22, n.3, p.207-217, 1984

BRAGA, J.F. **Efeito de Reguladores Vegetais na Germinação de Sementes e Desenvolvimento de Plantas de Atemóia (*Annona cherimola* Mill. x *Annona squamosa* L.) cv. Gefner**. 2008, 71f. Tese (Doutorado) - Instituto de Biociências de Botucatu, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2008.

BRIAT, J.F.; LOBREAUX, S: Iron storage and ferritin in plants. **Metall Ions in Biological Systems**, v.35, p.563-584,1998.

BOARO, C.S.F., RODRIGUES, J.D., PEDRAS, J.F., RODRIGUES, S.D.; DELACHIAVE M.E.A.; ONO, E.O.. Avaliação do crescimento do Feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L. cv Carioca) sob diferentes níveis de magnésio. **Biotemas**, v.9, n.2-3, p.15-28, 1996.

BONAVENTURE, L. **A cultura de Cherimóia e seu híbrido, a Atemóia**. São Paulo: Nobel, 1999. 182 p.

BOURKE, D.O.D. *Annona* spp. In: GARNER, R.J.; CHAUDHRI, S.A. **The propagation of tropical fruit trees**. East Malling: FAO, 1985. p.233-247.

BRIZOLA, R.M. De O.; LEONEL, S.; TECCHIO, M.A.; MISCHAN, M.M. Exportação de macronutrientes pelos ramos e frutas da figueira cultivada em função da adubação potássica. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.27, n.1, p.33-37, 2005.

BROYER, T.C.; CARLTON, A.B.; JOHNSON, C.M.; STOUT, P.R. Chlorine-A micronutrient element for higher plants. **Plant Physiology**, v.29, p.526-532, 1954.

CAMACHO-CRISTOBAL, J.J.; REXACH, J.; GONZALEZ-FONTES, A. Boron in plants: deficiency and toxicity. **Journal of Integrative Plant Biology**, v.50, n.10, p.1247-1255, 2008.

CAMARGO, C.M.M.S.; KAVATI, R. Observações preliminares sobre o desenvolvimento vegetativo da fruta-do-conde (*Annona squamosa* L.) sobre diferente porta-enxertos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 14., 1996, Curitiba, PR. **Anais...** Londrina: IAPAR, 1996. p.225

CAMMARANO, P., FELSANI, A., GENTILE, M., GUALERZI, C., ROMEO, A., WOLF, G. Formation of active hybrid 80-S particles from subunits of pea seedlings and mammalian liver ribosomes. **Biochimica et Biophysica Acta**, v.281, n.4, p.625-642, 1972.

CAMPOS, M.C.C.; MARQUES, F.J.; LIMA, A. G.; MENDONÇA, R. M. N. Crescimento de porta-enxerto de gravioleira (*Annona muricata*, L.) em substratos contendo doses crescentes de rejeitos de caulim. **Revista de Biologia e Ciência da Terra**, v.8, n.1, p.61-66, 2008.

CAMPBELL, C.W.; PHILLIPS, R.L. **The atemoya**. Gainesville: University of Florida. 1994. 3p.

CARMELO, Q.A.de C. **Saturação por bases e relações entre K, Ca e Mg no solo na nutrição potássica do milho** (*Zea mays* L.) cv. **Piranão**. 1989. 105f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1989.

CASTELLANE, P.D. ARAUJO, J.A.C. **Cultivo sem solo - Hidroponia**. 4. ed. Jaboticabal: FUNEP, 1995. 43 p.

CARDOSO, E.de A.; SILVA, H.da; SILVA, A.Q. da. Influência da origem da semente no desenvolvimento e concentração de nutrientes em mudas de graviola (*Annona muricata* L.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 20., 1989, Fortaleza. **Anais...** p.201-203, 1989.

CAUSTON, D.R.; VENUS, J.C. **The biometry of plant growth**. London: Edward Arnold, 1981. 307p.

CECONI, D.E.; POLETTO, I.; LOVATO, T.; MUNIZ, M.F.B. Exigência nutricional de mudas de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.) à adubação fosfatada. **Ciência Florestal**, v.17, n.1, p.25-32, 2007.

CHATROU, L.W. Las Annonaceae y el proyecto Annonaceae: una breve revisión de su estado actual. **Acta Horticulturae**, v.497. n.1, p.51-57, 1999.

CHATROU, L.W., RAINER, H.; MAAS, P.J.M. Annonaceae (Soursop Family). In: SMITH, N. **Flowering Plants of the Geotropism**. New York: The New York Botanical Garden, 2004, 18.p.

CHEN, Y.F.; WANG, Y.; WU, W.H.L. Membrane transporters for nitrogen, phosphate and potassium uptake in plants. **Journal of Integrative Plant Biology**, v.50, n.7, p.835-848, 2008.

CHU, E.Y.; MÖLLER, M.R.F.; CARVALHO, J.G. Efeitos da inoculação micorrízica em mudas de graviola em solo fumigado e não fumigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, n.4, p.671-680, 2001.

CHURCHILL, K.A.; SZE, H. Anion-sensitive, H-pumping ATPase of oat roots: direct effects of Cl⁻, NO₃⁻, and a disulfonic stilbene. **Plant Physiology**, v.76, p.490-497, 1984.

CIOMPI, S.; GENTILI, E.; GUIDI, L.; SOLDATINI, G. F. The effect of nitrogen deficiency on leaf gas exchange and chlorophyll fluorescence parameters in sunflower. **Plant Science**, v. 118, n.2, p.177-184, 1996.

CLAASSEN, M. E.; WILCOX, G. E. Comparative reduction of calcium and magnesium composition of corn tissue by NH₄⁺N and potassium fertilization. **Agronomy Journal**, v.66, n.4, p.521-522, 1974.

CLEMENS S: Toxic metal accumulation, responses to exposure and mechanisms of tolerance in plants. **Biochemie**, v.88, n.11, p.1707-1719, 2006.

COETZER, L.A., ROBERTSE, P.J.; WET, E. The influence of boron applications on fruit production and cold storage. **Samga**, v.11, p.28-31, 1994.

COLOM, O.A.; POPICH, S.; BARDON, A. Bioactive constituents from *Rollinia emarginata* (annonaceae). **Natural Products Research**, v.21, n.3, p.254-259, 2007.

CORSATO, J.Q. **Tolerância à dessecação e armazenamento de sementes de Araticum-de-terra-fria** (*Annona emarginata* (SCHLTDL.) H. Rainer). 2010. 101f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.

COSTA, A.M.G.; COSTA, J.T.A.; CAVALCANTI JÚNIOR, A.T.; CORREIA, D.; MEDEIROS FILHO, S. Influência de diferentes combinações de substratos na formação de porta-enxerto de gravioleira (*Annona muricata* L.). **Ciência Agrônômica**, v.36, n.3, p.299-305, 2005.

COSTA, P.N. **Reguladores vegetais, luz e temperatura na germinação de sementes de araticum-de-terra-fria** (*Annona emarginata* (SCHLTDL.) H. Rainer). 2009. 78f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Biociências, UNESP – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2009.

CORNAH JE, TERRY MJ, SMITH AG: Green or red: what stops the traffic in the tetrapyrrole pathway? **Trends in Plant Science**, v.8, n.5, p.224-230, 2003.

CRUZ, J.L.; MOSQUIM, P.R.; PELACANI, C.R.; ARAÚJO, W.L. DaMATTA, F.M. Carbon and partitioning and assimilation as affected by cassava nitrogen. **Photosynthetica**, v.41, n.2, p.201-207, 2003.

DABRAH, T.T. & SNEDEN, A.T. Rollinacin and isorollinacin, cytotoxic acetogenins from *Rollinia papilionella*. **Phytochemistry**, v.23, n.9, p.2013-2016. 1984.

DAVID, E.F.S. **Desenvolvimento, trocas gasosas, rendimento e composição de óleo essencial de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com variação dos níveis de N, P, K e Mg**. 2007. 132f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2007.

DAVID, E.F.S.; MISCHAN, M.M.; BOARO, C.S.F. Desenvolvimento e rendimento de óleo essencial de menta (*Mentha piperita* L.) cultivada em solução nutritiva com diferentes níveis de fósforo. **Biotemas**, v.20, n.2, p.15-26, 2009.

DE RIJCK, G.; SCHREVEENS, E. Chemical feasibility region for nutrient solutions in hydroponic plant nutrition. **Journal plant nutrition**. v.22, n.2, p.259-268, 1999.

DEMIDCHIK, V, MAATHUIS, F.J.M Physiological roles of non selective cation channels in plants: from salt stress to signalling and development. **New Phytologist**, v.175, n.3, p.387-404, 2007.

DENG, W.; LUO, K.M.; LI, D.M.; ZHENG, X.L.; WEI, X.Y.; SMITH, W.; THAMMINA, C.; LU, L.T.; LI, Y.; PEI, Y: Overexpression of an Arabidopsis magnesium transport gene, AtMGT1,

in *Nicotiana benthamiana* confers Al tolerance. **Journal Experimental Botany**, v.57, n.15, p.4235-4345, 2006.

DIAS, M.C. **Estudos taxonômicos do gênero *Xylopia* L. (Annonacea) no Brasil extra-amazonico**. 1988. 183f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) - Instituto de Biologia, Universidade de Campinas, Campinas, 1988.

DIBB, D.W.; THOMPSON JUNIOR, W.R. Interaction of potassium with other nutrients. In: MUNSON, R.D. (Ed.). **Potassium in agriculture**. Madison: ASA, 1985. p.515-533.

DING, Y.C.; CHANG, C.R.; LUO, W.; WU, Y.S.; REN, X.L.; WANG, P. High potassium aggravates the oxidative stress induced by magnesium deficiency in rice leaves. **Pedosphere**, v.18, n.3, p.316-327, 2008.

DONADIO, L.C. Situação Atual e Perspectivas das Anonáceas. In: SÃO JOSÉ, A.R.; SOUZA, I.V.B.; MORAIS, O.M.; REBOUÇAS, T.N.H (Eds.). **Anonáceas, Produção e Mercado: Pinha, Graviola, Atemóia e Cherimóia. Vitória da Conquista: DFZ/UESB**, 1997. p.1-4.

DONADIO, L.C.; NACHTIGAL, J.C.; SACRAMENTO, C.K. **Frutas Exóticas**. Jaboticabal: Funep, 1998. 279p.

DORNHOFF, G.M.; SHIBLES, R.M. Varietal differences in net photosynthesis of soybean leaves. **Crop Science**, v.10, p.42-45, 1970.

DONCHEVA, S., Z. STOYANOVA, K. GEORGIEVA, D. NEDEVA, R. DIKOVA, G. ZEHIROV, A. NIKOLOVA. Exogenous succinate increases resistance of maize plants to copper stress. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v.169, n.2, p.247-254, 2006.

DUTRA, A.V. **Nutrição e produção de mudas de rosas de corte, cultivares “Vegas” e “Tineke”**. 2009. 94f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba.

ENCINA, C.L.; PADILLA, I.M.G.; CAZORLA, J.M.; CARO, E. Tissue culture in cherimoya. **Acta Horticulturae**, v.497, n.1, p.289-302, 1999.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. **Nutrição mineral de plantas, princípios e perspectivas**. 2.ed. Londrina: Editora Planta, 2006, 403p.

ERICSSON, T., RYTTER, L. VAPAAVOURI, E.: Physiology of carbon allocation in trees. **Biomass & Bioenergy**, v.11, n.2-3, p.115-127, 1996.

ENVILD KC: Chlorine-containing natural compounds in higher plants. **Phytochemistry**, v.25, n.4, p.781-791, 1986.

ESKEW, D.L.; WELCH, R.M.; NORVELL, W.A. Nickel in higher plants: further evidence for an essential role. **Plant Physiology**, v.76, p.691-693, 1984.

EVANS, J.R. Photosynthesis and nitrogen relationships in leaves of C₃ plants. **Oecologia**. v.78, n.1, p.9-19, 1989.

EVANS, G.C.. **The quantitative analysis of plant growth**. Berkeley: University of California Press. 1972. 734 p.

FAGERIA, V.D. Nutrient interactions in crop plants. **Journal Plant Nutrition**, v.24, n.8, p.1269-1290, 2001.

FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C.; JONES, C.A. Rice. In: FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C.; JONES, C.A. **Growth and mineral nutrition of field crops**. 2.ed. New York : Dekker, 1997. p.283-343.

FARQUHAR, G.D.; SHARKEY, T.D. Stomatal Conductance and photosynthesis. *Ann. rev. Plant Physiology*, v.33, p.317-345, 1982.

FAZIO, J.L. **Cálcio e ethephon no desenvolvimento e produção de óleo essencial de menta (*Mentha piperita* L.), cultivada em solução nutritiva**. 2007. 109f. Dissertação (mestrado) - Instituto de Biociências de Botucatu, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2007.

FERREIRA, E. **Ajustamento osmótico e análise de crescimento de plantas de milho (*Zea mays* L.), em função do nível de potássio e estresse hídrico**. 1996. 130f. Tese (Doutorado) - Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1996.

FOLLMER C: Insights into the role and structure of plant ureases. **Phytochemistry**, v.69, n.1 p.18-28, 2008.

FOYER, C.H.; NOCTOR, G.; VAN EMDEN, HF: An evaluation of the costs of making specific secondary metabolites: does the yield penalty incurred by host plant resistance to insects result from competition for resources? **Internation Journal of Pest Management**, v.53, n.3, p.175-182, 2007.

FRANCO, C.F.; PRADO, R.M. Uso de soluções nutritivas no desenvolvimento e no estado nutricional de mudas de goiabeira: macronutrientes. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.28, n.2, p.199-205, 2006.

FRANCO, C.F.; PRADO, R.M.; BRAGHIROLI, L. F.; ROZANE, D. E. Marcha de absorção dos micronutrientes para mudas de goiabeiras cultivares paluma e século XXI. **Bragantia**, v.67, n.1, p.83-90, 2008.

FRANCO, C.F.; PRADO, R. M. Nutrição de micronutrientes em mudas de goiabeira em resposta ao uso de soluções nutritivas. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.30, n.3, p.403-408, 2008.

FRANZIN, S.M., MENEZES, N.L., GARCIA, D. C., WRASSE, F.C. Métodos de avaliação do potencial fisiológico de semente de alface. **Revista Brasileira de Sementes**, v.26, n.2. p.63-69, 2004.

FREYERMUTH, S.K.; BACANAMWO, M.; POLACCO, J.C. The soybean *Eu3* gene encodes an Ni-binding protein necessary for urease activity. **Plant Journal**, v.21, n.1, p.53-60, 2000.

FUENTES, J. L. Production of cherimoya (*Annona cherimola* Mill.) in Ecuador. **Acta Horticulturae**, v.497, n.1, p.59-63, 1999.

FURLANI, P.R.; SILVEIRA, L.C.P.; BOLONHEZI, D.; FAQUIN, V. **Cultivo hidropônico de plantas**. Campinas: IAC, 1999. 52 p. (Boletim Técnico 180)

FURTADO, L.F. **Vazões de aplicação de solução nutritiva, teor de nitrato em alface sob cultivo hidropônico e aceitabilidade sensorial**. 2008. 71f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2008.

GAUDE, N, NAKAMURA, Y.; SCHEIBLE, W.R.; OHTA, H, DORMANN, P. Phospholipase C5 (NPC5) is involved in galactolipid accumulation during phosphate limitation in leaves of *Arabidopsis thaliana*. **Plant Journal**, v.56, n.1, p.28-39, 2008.

GAZEL FILHO, A.B.; CARVALHO, A.C. de A.; MENEZES, A.J.E.A. de. Teores de macronutrientes em folhas de gravioleira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.16, n.2, p.121-124, 1994.

GEORGE, A.P., NISSEN, R.J., Effects of environmental variables and cropping on plant water status of custard apple (*Annona cherimola* × *Annona squamosa*). **Journal of Horticultural Science**, v.67, n.4, p.445-455, 1992.

GEORGE, A.P.; NISSEN, R.J. Propagation of *Annona* species, a review. **Scientia Horticulturae**, v.33, n.1-2, p.75-85, 1987.

GEORGE, A.P., NISSEN, R.J. HOWITT, C. Effects of environmental variables and cropping on leaf conductance of custard apple (*Annona cherimola* × *Annona squamosa*) ‘African Pride’. **Scientia Horticulturae**, v.45, n.1-2, p.137-147, 1990.

GIBBS, R. D.; **Chemotaxonomy of flowering plants**. Montreal: University Press. 1974. 1450p.

GORBE, E; CALATAYUD, A. **Optimization of Nutrition in Soilless Systems: A Review.** *Advances in Botanical Research*, v.53, p.1-230, 2010.

GLUFKE, C. **Espécies florestais recomendadas para recuperação de áreas degradadas.** Porto Alegre: Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul, 1999. 48p.

GUTSCHICK, V.P. Photosynthesis, Growth Rate, and Biomass Allocation In: JACKSON, L.E. (Ed.) **Ecology in agriculture.** Califórnia: Academic Press, 1997, 448p.

HAAG, H.P.; OLIVEIRA, G.D.; ROCHA FILHO, J.V.C.; SILVA, D.H. Distúrbios nutricionais em figueira (*Ficus carica* L.) cultivada em solução nutritiva. **O solo**, v.71, n.1, p.31-34, 1979.

HABERMANN, G. **Trocas gasosas, relações hídricas e hormônios vegetais em laranjeiras-doce, infectadas por *Xylella fastidiosa*, em três regiões do Estado de São Paulo.** 2004. 167f. Tese (doutorado). Instituto de Biociências de Botucatu Universidade Estadual Paulista (UNESP), Botucatu, 2004.

HABERMANN, G.; MACHADO, E.C; RODRIGUES, J.D.; MEDINA, C.L. CO₂ assimilation, photosynthetic light response curves, and water relations of 'Pêra' sweet orange plants infected with *Xylella fastidiosa*. **Brazilian Journal Plant Physiology**, v.15, n.2, p.79-87, 1999.

HAMMOND, J.P.; BENNETT, M.J.; BOWEN, H.C.; BROADLEY, M.R., EASTWOOD, D.C.; MAY, S.T.; RAHN, C.; SWARUP, R.; WOOLAWAY, K.E.; WHITE, P.J. Changes in gene expression in Arabidopsis shoots during phosphate starvation and the potential for developing smart plants. **Plant Physiology**, v.132, p.578-596, 2003.

HANSCH, R.; MENDEL, R.R. Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl). **Current Opinion in Plant Biology**, v.12, n.3, p.259-266, 2009.

HARRISON PM, AROSIO P: The ferritins: molecular properties, iron storage function and cellular regulation. **Biochimica et Biophysica Acta**, v.1275, n.3, p.161-203, 1996.

HAVEMEYER, A.; BITTNER, F.; WOLLERS, S.; MENDEL, R.; KUNZE, T.; CLEMENT, B. Identification of the missing component in the mitochondrial benzamidoxime prodrug-converting system as a novel molybdenum enzyme. **The Journal of Biological Chemistry**, v.281, n.4, p.34796-34802, 2006.

HAWKESFORD, M.J.; DE KOK, L.J. Managing sulphur metabolism in plants. **Plant Cell Environment**, v.29, n.3, p.382-395, 2006.

HEBBERN, C.A.; LAURSEN, K.H.; LADEGAARD, A.H.; SCHMIDT, S.B.; PEDAS, P.; BRUHN, D.; SCHJOERRING, J.K.; WULFSOHN, D.; HUSTED, S. Latent manganese

deficiency increases transpiration in barley (*Hordeum vulgare*). **Physiologia Plantarum**, v.135, n.3, p.307-316, 2009.

HELBEL JUNIOR, C.; REZENDE, R.; FREITAS, P. S. L.; GONÇALVES, A. C. A.; FRISSONE, J. A. Influência da condutividade elétrica, concentração iônica e vazão de soluções nutritivas na produção de alface hidropônica. **Ciência Agrotecnologia**, v.32, n.4, p.1142-1147, 2008.

HIGUCHI, H., SAKURATANI, T.; UTSUNOMIYA, N. Photosynthesis, leaf morphology and shoot growth as affected by temperatures in cherimoya (*Annona cherimola* Mill.) trees. **Scientia Horticulturae**, v.80, n.1-2, p.91-104, 1999.

HIGUCHI, H., UTSUNOMIYA, N.; SAKURATANI, T. Effects of temperature on growth, dry matter production and CO₂ assimilation in cherimoya (*Annona cherimola* Mill.) and sugar apple (*Annona squamosa* L.) seedlings. **Scientia Horticulturae**, v.73, n.2-3, p.89-97, 1998.

HILLE R. The mononuclear molybdenum enzymes. **Chemical Reviews**, v.96, n.7, p.2757-2816, 1996.

HOAGLAND, D.R.; ARNON, D.I. **The water: culture method for growing plants without soil**. Berkeley: California Agricultural Experiment Station, 1950. 32p.

HUANG, Z.A.; JIANG, D.A.; YANG, Y.; SUN, J.W.; JIN, S.H. Effects of nitrogen deficiency on gas exchange, chlorophyll fluorescence, and antioxidant enzymes in leaves of rice plants. **Photosynthetica**, v.42, n.3, p.357-364, 2004.

HUFFMAN, D.L.; O'HALLORAN, T.V. Function, structure, and mechanism of intracellular copper trafficking proteins. **Annual Review of Biochemistry**, v.70, p.677-701, 2001.

IBGE. **Censo Agropecuário de 1995/96**. Rio de Janeiro. 1998. 320p.

INGESTAD, T. Relative addition rate and external concentration: Driving variables used in plant nutrition research. **Plant cell environment**, v.5, n.6, p.443-453, 1982.

JAMTGARD, S.; NASHOLM, T.; HUSS-DANELL, K. Characteristics of amino acid uptake in barley. **Plant Soil**, v.302, n.1-2, p.221-231, 2008.

JELAKOVIC, S.; KOPRIVA, S.; SUSS, K.H.; SCHULZ, G.E. Structure and catalytic mechanism of the cytosolic D-ribulose-5-phosphate 3-epimerase from rice. **Journal of Molecular Biology**, v.326, n.1, p.127-135, 2003.

JOHNSON, H.A.; ORBELIES, N.H.; ALALI, F.Q.; McLAUGHLIN, J.L. Thwarting resistance: annonaceous acetogenins as new pesticidal and antitumor agents. In: CUTLER, S.J.; CUTLER,

H.G. (Eds.). **Biologically active natural products: pharmaceuticals**. Washington: CRC Press, 2000. pp.173-184.

JOLY, A. B. **Botânica**: introdução à taxonomia vegetal. 13.ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional. 2002. 777p.

JONES, J.B.Jr. Hydroponics: its history and use in plant nutrition studies. **Journal of Plant Nutrition**, v.71, n.6, p.1020-1026, 2000.

JUNQUEIRA, K.P.; VALE, M. R.; PIO, R.; RAMOS, J. D. **Cultura da gravioleira** (*Annona muricata*). Lavras - MG: UFLA, 2003. 25p.

KARIM, S.; HOLMSTROM, K.O.; MANDAL, A.; DAHL, P.; HOHMANN, S.; BRADER, G.; PALVA, E.T.; PIRHONEN, M. AtPTR3, a wound-induced peptide transporter needed for defence against virulent bacterial pathogens in Arabidopsis. **Planta**, v.225, n.6, p.1431-1445, **2007**.

KARLEY, A.; WHITE, P.J. Moving Cationic Minerals to Edible Tissues: Potassium, Magnesium, Calcium. **Current Opinion in Plant Biology**, v.12, n.3, p.291-298, 2009.

KAVATI, R. **A cultura de atemóia** (*Annona cherimola* Mill. x *Annona squamosa* L.). Campinas: CATI. 1998. 14 p.

KAVATI, R. Cultivo de atemóia. In: DONADIO, L.C.; MARTINS, A.B.G.; VALENTE, J.P. (Eds.) **Fruticultura tropical**. Jaboticabal: FUNEP, 1992 p. 39-70.

KAWAGASHIRA, N.; OHTOMO, Y.; MURAKAMI, K.; MATSUBARA, K.; KAWAI, J.; CARNINCI, R.; HAYASHIZAKI, P.; KIKUCHI, S.; HIGO, K. In: MATSUDA, H.; MIYANO, S.; TAKAGI, T.; WONG, L. (Eds.). **Multiple zinc finger motifs with comparison of plant and insects**. Tokyo: Yebisu Garden Place, 2001. p.368-369.

KELEG, F.M.; EL-AZAB, E.M.; SOUROUR, M. Effect of soil and salinity on growth and mineral content of leaves and roots of loquat, annona, and papaya seedlings. **Alexandria Journal Agricultural Research**, v.28, p.213-224, 1980.

KILINC, S.S.; ERTAN, E.; SEFEROGLU, S. Effects of different nutrient solution formulations on morphological and biochemical characteristics of nurse fig trees grown in substrate culture. **Scientia Horticulturae**, v.113, n.1, p.20-27, 2007.

KOHN, B.D. Plasma membrane-cell wall contacts. **Plant Physiology**, v.124, n.1, p.31-38, 2000.

KOZMIN, S.G.; LEROY, P.; PAVLOV, Y.I.; SCHAAPER, R.M.; YIL, M. Two novel determinants for resistance of *Escherichia coli* to N-hydroxylated base analogues. **Molecular Microbiology**, v.68, n.1 , p.51-65.

KRAMER, U.; CLEMENS, S. Function and homeostasis of zinc, copper, and nickel in plants. **Topics in Current Genetics**, v.14, p.215-271, 2005.

KUPER, J.; LLAMAS, A., HECHT, H.J.; MENDEL, R.R.; SCHWARZ, G. Structure of the molybdopterin-bound Cnx1G domain links molybdenum and copper metabolism. **Nature**, v.430, p.803-806, 2004.

KURIHARA, C.H. **Nutrição mineral e crescimento da soja sob influência do equilíbrio entre Ca, Mg e K**. 1991. 95f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1991.

KUSUNOKI, M. Mono-manganese mechanism of the photosystem II water splitting reaction by a unique Mn₄Ca cluster. **Biochimica et Biophysica Acta**, v1767, n.6 , p.484-492, 2007.

KVET, J.; ONDOCK, J.P.; NECAS, J; JARVIS, P.G. Methods of growth analysis. In: SESTAK Z.J.; CATSKY, P.G.N.V (Eds.) **Plant photosynthetic production; manual of methods**. The Hague: Jarvis Publishers, 1971. 384p.

LAMBERS, H.; POORTER, H. Inherent variations in growth rate between higher plants: a search for physiological causes and ecological consequences. **Advances in Ecological Research**, v.23, p.188-261, 1992.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: Rima, 2006. 550p.

LEBOUEF, M.; CAVÉ, A.; BHAUMIK, P.K.; MUKERJEE, B.; MUKHERJEE, R. The phytochemistry of the Annonaceae. **Phytochemistry**, v.21, n.12 , p.2783-2813, 1982.

LE THOMAS, A., WAHA M. & W. MORAWETZ, 1992. Palynology. In: MAAS, P.J.M.; WESTRA, J.L.Th. (Eds.) **Flora Neotrópica Monograph 57: Rollinia**. New York: The New York Botanical Garden, 1992. p.31-36.

LIMA, J.D.; DA MATTA, F.M.; MOSQUIM, P.R.. Leaf gas exchange and chlorophyll fluorescence parameters in *Phaseolus vulgaris* as affected by nitrogen and phosphorus deficiency. **Photosynthetica**, v.37, n.1, p.113-121, 1999.

LIMA, J.F., PEIXOTO, C.P.; LEDO, C.A.S. Índices fisiológicos e crescimento inicial de mamoeiro (*Carica papaya* L.) em casa de vegetação. **Ciência Agrotecnologia**, v.31, n.5, p.1358-1363. 2007.

LIMA, J.J.S.L.; WEBER, O.B.; PEREIRA, W.E.; CORREIA, D, SOFIATTI, V.; BRANDÃO, Z.B.; FERREIRA, G.B. Crescimento e teores de nutrientes em mudas de gravioleira Cultivadas em seis substratos. **Engenharia Ambiental**, v.6, n.3, p.594-606, 2009.

LIN, C.W.; CHANG, H.B.; HUANG, H.J. Zinc induces mitogen-activated protein kinase activation mediated by reactive oxygen species in rice roots. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.43, n.10-11, p.963-968, 2005.

LOBÃO, A.Q.; ARAUJO, DOROTHY, S.D.de.; KURTZ, B.C. Annonaceae das restingas do estado do Rio de Janeiro, Brasil. **Rodriguésia**, v.56, n.87, p.85-96, 2005.

LOPES, M.C.; FREIER, M.; MATTE, J.C.; GÄRTNER, M.; FRANZENER, G.; NOGAROLLI, E.L.; SEVIGNANI, A. Acúmulo de nutrientes por cultivares de alface em cultivo hidropônico no inverno. **Horticultura Brasileira**, v.21, n.2, p.211-215, 2003.

LOPEZ R.I; PUIGDOMENECH, P: Structure, organization and expression of the eukaryotic translation initiation factor 5, eIF- 5, gene in *Zea mays*. **Gene**, v.240, n.2, p.355-359, 1999.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**: Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil. 2. Ed. Nova Odessa: Editora Plantarum, 1998. 352p.

LUCENA, J.J. Methods of diagnosis of mineral nutrition of plants: a critical review. **Acta Horticulturae**, v.448, n.1, p.179-182, 1997.

LUCIANO, P.; TOKATLIDIS, K.; CHAMBRE, I.; GERMANIQUE, J.C.; GELI, V. The mitochondrial processing peptidase behaves as a zinc-metallopeptidase. **Journal of Molecular Biology**, v.280, n.2, p.193-199, 1998.

MAAS, E.V. 1994. Tolerance and responses of tropical crops to salinity stress, p. 47–56. In: DAVENPORT, T.L.; HARRINGTON, H.M. (Eds.). **Proceedings of plant stress in the tropical environment**. Kailua–Kona: University of Florida, 1994. p.20-25.

MAAS, P.J.M.; KAMER, H.; VAN, M.-; JUNIKKA, L.; MELLO-SILVA, R. De.; RAINER, H. Annonaceae from Central-eastern Brazil. **Rodriguésia**. v.52, n.80, p.65-98, 2001.

MAATHUIS, F.J. Physiological functions of mineral macronutrients. **Current in Opinion. Plant Biology**, v.12, n.3, p.250-258, 2009.

MAATHUIS, F.J.M, SANDERS, D. Mechanism of high affinity potassium uptake in roots of *Arabidopsis thaliana*. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v.91, n.10, p.9272-9276, 1994.

MAATHUIS, F.J.M.; SANDERS, D. Contrasting roles in ion transport of two K⁺ channels in root cells of *Arabidopsis thaliana*. **Planta**, v.197, n.3, p.456-464, 1995.

MACHADO, E.C.S.; MEDINA, P.T.; RIBEIRO, C.L. Respostas da fotossíntese de três espécies de citros a fatores ambientais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, n.12, p.1161-1170, 2005.

MAIDMENT, J.M.; MOORE, D.; MURPHY, G.P.; MURPHY, G.; CLARK, I.M. Matrix metalloproteinase homologues from *Arabidopsis thaliana*. Expression and activity. **Journal of Biological Chemistry**, v.274, n.3, p. 34706-34710, 1999.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: Ceres, 1980. 215p.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1976. 528 p.

MALAVOLTA, E.; MORAIS, M.F. Fundamentos do nitrogênio e do nitrogênio e enxofre na nutrição de plantas cultivadas. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S.; VITTI, G.C. (Eds.). **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: IPNI, 2007. p.189-249.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, A.S. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1989. 201p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319p.

MAGALHÃES, A.C.N. Análise quantitativa de crescimento. In: FERRI, M.G. (Ed.) **Fisiologia vegetal**. São Paulo: EDUSP, 1986. 350p.

MAHOUACHI, J.; SOCORRO, A.R.; TALON, M. Responses of papaya seedlings (*Carica papaya* L.) to water stress and re-hydration: growth, photosynthesis and mineral nutrient imbalance. **Plant Soil**, v.281, n.1-2, p.137-146, 2006.

MAIRESSE, L.A.da.S. **Avaliação da bioatividade de extratos de espécies vegetais, enquanto excipientes de aleloquímicos**. 2005. 284f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, 284.

MANICA, I.; ICUMA, I.M.; JUNQUEIRA, K.P; OLIVEIRA, M.A.S.; CUNHA, M.M. da., OLIVEIRA Jr., M.E.de.; JUNQUEIRA, N.T.V.; ALVES, R.T. **Frutas anonáceas: ata ou pinha, atemólia, cherimólia e graviola: Tecnologia de produção, colheita, mercado**. Porto Alegre: Cinco continentes, 2003. 596p.

MARENCO, R.A.; GONÇALVES, J.F. de C. VIEIRA, G. Photosynthesis and leaf nutrient contents in *Ochroma pyramidae* (Bombacaceae). **Photosynthetica**, v.39, n.4, p.539-543, 2001.

MARENCO, R.A.; LOPES, N.F. **Fisiologia Vegetal: Fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral**. Viçosa: Editora UFV, 2005. 451p.

MARLER, T.E., GEORGE, A.P., NISSEN, R.J., ANDERSEN, P.C., Miscellaneous tropical fruits. In: SCHAFFER, B.; ANDERSEN, P.C. (Eds.). **Handbook of Environmental Physiology of Fruit Crops: Subtropical and Tropical Crops**. Boca Raton: Press, 1994. 224p.

MARSCNER, H. **Mineral Nutrition of higher plants**. 2. ed. London: Academic Press, 1995. 889p.

MARTINEZ, H.E.P. **O uso do cultivo hidropônico de plantas em pesquisa**. Viçosa: Editora UFV, 2002. 61p. (Cadernos didáticos).

MARTINEZ, H.E.P.; BARBOSA, J.G. **O uso de substratos em cultivos hidropônicos**. Viçosa: Editora UFV, 2001, 49p.

MARTINEZ, H.E.P.; BRACCINI, M.C.L.; BRACCINI, A.L. Cultivo hidropônico do tomateiro (*Lycopersicon esculentum* Mill.). **UNIMAR**, v.19, n.3, p.721-740, 1997.

MARTINS, C.P. **Cultivo hidropônico de bananeiras (*Musa* sp.) submetidas ao estresse salino: aspectos fisiológicos e bioquímicos**. 2007. 48f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ), Piracicaba, 2007.

MCAINSH, M.R.; PITTMAN, J.K. Shaping the calcium signature. **New Phytologist**, v.181, n.2, p.275-294, 2009.

MEHNE-JAKOBS, B. Magnesium deficiency treatment causes reductions in photosynthesis of well nourished Norway spruce. **Trees – Structure and Function**, v.10, n.5, p.293-300, 1996.

MELLO, N.T.C.; NOGUEIRA, E.A.; MAIA, M.L. Atemóia: perspectivas para a produção paulista. **Informações Econômicas**. v.38, n.9, p.7-13, 2003.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. **Principles of plant nutrition**. 5.ed. London: Kluwer Academic Publishers, 2001. 849p.

MERCHANT, S.S.; ALLEN, M.D.; KROPAT, J.; MOSELEY, J.L.; LONG, J.C.; TOTTEY, S.; TERAUCHI, A.M. Between a rock and a hard place: trace element nutrition in *Chlamydomonas*. **Biochimica et Biophysica Acta**, v.1763, n.7, p.578-594, 2006.

MEZIANE, D.; SHIPLEY, B. Interacting components of interspecific relative growth rate: constancy and change under differing conditions of light and nutrient supply. **Functional Ecology**, v.13, n.5, p.611-622, 1999.

MIELKE, M.S.; MATOS, E.M.; COUTO, V.B.; ALMEIDA, A.A.F.; GOMES, F.P.; MANGABEIRA, P.A.O. Some photosynthetic and growth responses of *Annona glabra* L. seedlings to soil flooding. **Acta Botanica Brasilica**, v.19, n.4, p.905-911, 2005.

MILLER, A.J. Freeways in the plant: transporters for N, P and S and their regulation. **Current Opinion in Plant Biology**, v.12, n.3, p.284-290, 2009.

MIRALHA, J. M. S. **As Annonaceae da Reserva Florestal Ducke**. 1995. 165f (Tese de Doutorado) - Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia (INPA) / Universidade Federal de Manaus (UFAM), Manaus, 1995.

MITSUHASHI, N.; OHNISHI, M.; SEKIGUCHI, Y.; KWON, Y.U.; CHANG, Y.T.; CHUNG, S.K.; INOUE, Y.; REID, R.J.; YAGISAWA, H.; MIMURA, T. Phytic acid synthesis and vacuolar accumulation in suspension-cultured cells of *Catharanthus roseus* induced by high concentration of inorganic phosphate and cations. **Plant Physiology**, v.138, p.1607-1614, 2005.

MOHD KHALID, M.Z. Hybridizations between selected *Annonaceae* Species. **Acta Horticulturae**, v.575, n.2, p.367-369, 2002.

MORAN N. Osmoregulation of leaf motor cells. **FEBS Letters**, v.581, n.12, p.2337-2347, 2007.

MORAWETZ, W.; HEMMER, W. Karyology. In MAAS, P.J.M (Ed.). **Flora Neotropica Monogr 57: Rollinia**. New York: The New York Botanical Garden, 1992. p.57-58.

MOSCA, J.L.; CAVALCANTE, C.E.B.; DANTAS, T.M.D. **Características botânicas das principais anonáceas e aspectos fisiológicos de maturação**. Fortaleza: Embrapa agroindústria tropical, 2006. 28p.

MURPHY, L.S. Potassium interactions with other elements. In: MURPHY, L.S. (Ed.) **Potash and phosphate: a situation analysis**. Atlanta: Institute Potassium for agriculture, 1980. 209p.

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**, v.28, n.2, p.187-192, 2006.

NEVES, O.S.C.; CARVALHO, J.G.D.; FERREIRA, E.V.D.O.; PEREIRA, N.V. Crescimento, nutrição mineral e nível crítico foliar de K em mudas de umbuzeiro, em função da adubação potássica. **Ciência agrotecnologia**, v.31, n.3, p.636-642, 2007.

NGIEFU, C.K.; PAQUOT, C.; VIEUX, A. Oil plants of Zaire II: Botanical families producing oils of medium insaturation. **Oleagineux**, v.31, p.545-547, 1976.

NOGUEIRA, E.A.; MELLO, N.T.C de.; MAIA, M.L. Produção e comercialização de anonáceas Em São Paulo e Brasil. **Informações econômicas**. v.35, n.2, p.51-54, 2005.

NOGUEIRA, E.A.; MELLO, N.T.C.de; CASER, V.C.; ALMEIDA, G.V.B.de. **Anonáceas: do Brasil império a Atemóia**. 2007. Disponível em: < <http://www.uraonline.com.br/especial/esp-07/anonaceas.html> > Acesso em: 25 jul.2009.

NÚÑEZ-ELISEA, R., B. SCHAFFER, J.B. FISHER, A.M. COLLS AND J.H. CRANE. Influence of flooding on net CO₂ assimilation, growth, and stem anatomy of *Annona* species. **Annals of Botany**, v.84, n.6, p.771-780, 1999.

NÚÑEZ-ELISEA, R., B. SCHAFFER, J.H. CRANE, COLLS, A.M. Impact of flooding on *Annona* species. **Proceedings of the Flórida State Horticultural Society**, v.111, p.317-319, 1998.

O'HALLORAN, T.V.; CULOTTA, V.C. Metallochaperones, an intracellular shuttle service for metal ions. **Journal of Biological Chemistry**, v.275, p.25057- 25060, 2000.

OCHSE, J.J.; SOULE, J.M.; DIJKMAN, M.J.; WEHLBURG, C. Otros Cultivos Frutales In: _____ (Eds.). Cultivo y Mejoramiento de Plantas Tropicales y Subtropicales. México: Editorial Limusa, 1974. p.587-818.

OJEDA, M.; SCHAFFER, B.; DAVIES, F.S. Flooding, root temperature, physiology and growth of two *Annona* species. **Tree Physiology**, v.24, n.9, p.1019-1025, 2004b.

OJEDA, M.; SCHAFFER, B.; DAVIES, F.S. Soil temperature, physiology, and growth of containerized *Annona* species. **Scientia Horticulturae**, v.102, n.2, p.243-255, 2004a.

OLIVEIRA, L.C.; TAVARES, J.C.; RODRIGUES, G.S.O.; MARACAJÁ, P.B.; SILVA, M. L.S. Efeito de diferentes substratos na germinação de sementes e formação inicial de plântulas de graviola. **Revista Verde**, v.4, n.1, p.90-97, 2009.

ORSEL, M.; FILLEUR, S.; FRAISIER, V.; DANIEL-VEDELE, F. Nitrate transport in plants: which gene and which control? **Journal of Experimental Botany**, v.53, n.370, p.825-833, 2002.

PAGE, P.E. Tropical tree fruits for Austrália. 1984. In: PINTO, A.C.Q.; CORDEIRO, M.C.R.; ANDRADE, S.R.M.; FERREIRA, F.R.; FILGUEIRAS, H.A.C.; ALVES, R.E. (Eds.) **Annona species**. 2005. Disponível em: < http://www.icuc-iwmi.org/files/R7187_-_Annona%20monograph%202005.pdf >. Acesso em 28/04/2009.

PASZKOWSKI, U.; KROKEN, S.; ROUX, C.; BRIGGS, S.P. Rice phosphate transporters include an evolutionarily divergent gene specifically activated in arbuscular mycorrhizal symbiosis. **Proceedings National of the Academy Science**, v.99, n.20, p.13324-13329, 2002.

PILON, M.; ABDEL-GHANY, S.E.; COHU, C.M.; GOGOLIN, K.A.; YE, H. Copper cofactor delivery in plant cells. **Current Opinion in Plant Biology**, v.9, n.3, p.256-263, 2006.

PIMENTA, L.P.S.; PINTO, G.B.; TAKAHASHI, J.A.S.; BOAVENTURA, M.A.D. Biological screening of annonaceous brasilian medicinal plants using *Artemia salina* (brine shrimp test.) Phytomedicine. **Internation Journal of Phytotherapy & Phytopharmacology**, v.4, n.2-3, p.209-209, 2003.

PINTO, A.C. de Q.; RAMOS, V.H.V. **Polinização artificial da graviola**. Brasília: Embrapa Cerrados, 1999. 2p. (Guia técnico do produtor, nº 20).

PINTO, A.C.de.Q.; CORDEIRO, M.C.R.; ANDRADE, S.M.R.de; FERREIRA, F.R.; FILGUEIRAS, H.A. deC.; ALVES. R.E.; KINPARA, D.I. **Annonas Species**. Southampton: ICUC, 2005. 268p.

PINTO, A.C.Q.; SILVA, E.M. **Graviola para exportação: aspectos técnicos da produção**. Brasília: Maara-Frupex, 1994. 41p.

PINZÓN-TORRES, J.A.; SCHIAVINATO, M.A. Crescimento, eficiência fotossintética e eficiência do uso da água em quatro espécies de leguminosas arbóreas tropicais. **Hoehnea.**, v.35, n.3, p.395-404, 2008.

PIZA JÚNIOR, C.deT. Fruta-do-conde (*Annona squamosa* L): **manual técnico da cultura**. Campinas, CATI, 1988. p.239-243.

POORTER, H. Interspecific variation in relative growth rate: on ecological causes and physiological consequences. In: LAMBERS, H.; POOTERS, H.; VAN VUUREN, M.M.I. (Eds.). **Causes and consequences of variation in growth rate and productivity of higher plants**. Utrecht: SAB Academic Publishing, 1989. p.45-67.

PORTES, T.A.; CASTRO JÚNIOR, L.G. análise de crescimento de plantas: um programa computacional auxiliar. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.3, n.1, p.53-56, 1991.

PROEBSTING, E. L.; WARNER, R. M. The effect of fertilizers on yield, quality and leaf composition of figs. **Proceedings of American Society For Horticultural Science**, v.63, p.10-18, 1954.

RADFORD, P.S. Growth analysis formulae: their use and abuse. **Crop Science**, v.7, p.171-175, 1967.

RAINER, H. Monographic studies in the genus *Annona* L.(Annonaceae): Inclusion of the genus *Rollinia* A. St.-Hil. **Annalen des Naturhistorischen Museums in Wien**, v.108 B, p.191-205, 2007.

RAINER, H. Nomenclatural and taxonomic notes on *Annona* (Annonaceae). **Annalen des Naturhistorischen Museums in Wien**, v.103 B, p.513-524, 2001.

RAIJ, B. Van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres, 1991. 343p.

RAMANIA, B.; ZORN, H.; PAPENBROCK, J. Quantification and fatty acid profiles of sulfolipids in two halophytes and a glycophyte grown under different salt concentrations. **Zeitschrift für Naturforschung**, v.59, n.11-12, p.835-842, 2004.

RASCHKE, K. Movements using turgor mechanisms. In: HAUPT, W.; FEINLEIB, M.E. (Eds.) **Physiology of Movements**. Berlin: Springer-verlag, 1979, p.383-441.

RAVET, K.; TOURAINÉ, B.; BOUCHÉREZ, J.; BRIAT, J.F.; GAYMARD, F.; CELLIER, F. Ferritins control interaction between iron homeostasis and oxidative stress in Arabidopsis. **Plant Journal**, v.57, n.3, p.400-412, 2009.

REGO, F.A.O. **Efeito da adubação orgânica no desenvolvimento da graviola (*Annona muricata* L.) em diferentes épocas**. 1992. 79f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrônômica) – Universidade Federal da Paraíba, Areia, 1992.

REICH, P.B.; KLOEPPPEL, B.D.; ELLSWORTH, D.S.; WALTERS, M.B. Different photosynthesis-nitrogen in deciduous hardwood and evergreen coniferous tree species. **Oecologia**, v.104, n.1, p.24-30, 1995.

REITZ, R.; KLEIN, R.M.; REIS, A. **Projeto Madeira do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria de Agricultura e Abastecimento, 1983. 524p.

RENNENBERG, H.; HERSCHBACH, C.; HABERER, K.; KOPRIVA, S. Sulfur metabolism in plants: are trees different? **Plant Biology**, v.9, n.5, p.620-637, 2009.

RIBEIRO, R.C.F.; SOUZA, T.H.R.; XAVIER, A.A.; MIZOBUTSI, E.H.; PEREIRA, F. R.; BARROS, R. F. X. Reação de diferentes anonáceas a *Meloidogyne javanica*. **Unimontes Científica**, v.6, n.2, p.123-127, 2004.

RICHTER, S.; LAMPPA, G.K. Structural properties of the chloroplast stromal processing peptidase required for its function in transit peptide removal. **Journal of Biological Chemistry**, v.278, n.41, p.39497-39502, 2003.

RIZZINI, C. T. Dormancy in seeds of *Anona crassiflora* Mart. **Journal of Experimental Botany**, v.24, n.1, p.117-121, 1973.

ROBINSON, H.; GAO, Y.G.; SANISHVILI, R.; JOACHIMIAK, A.; WANG, A.H.J. Hexahydrated magnesium ions bind in the deep major groove and the outer mouth of A-form nucleic acid duplexes. **Nucleic Acid Research**, v.28, p.1770-1776, 2000.

RODRIGUES, S.D. **Análise de crescimento de plantas de soja (*Glycine max* L. Merrill) submetidas a carências nutricionais**. 1982. 165f. Tese (Doutorado) - Instituto de Biociências de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1982

RODRIGUEZ, F.I.; ESCH, J.J.; HALL, A.E.; BINDER, B.M.; SCHALLER, G.E.; BLEECKER, A.B. A copper cofactor for the ethylene receptor ETR1 from *Arabidopsis thaliana*. **Science**, v.283, n.5404, p.996-998, 1999.

RODRIGUEZ-NAVARRO, A.; RUBIO, F. High-affinity potassium and sodium transport systems in plants. **Journal of Experimental Botany**, v.57, n.5, p.1149-1160, 2006.

ROSOLEM, C. A. Interações do potássio com outros íons. In: POTÁSSIO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 9., 2004, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba, 2005, p.239-256.

RUIZ, H.A. Relações molares de macronutrientes em tecidos vegetais como base para a formulação de soluções nutritivas. **Revista Ceres**, v.44, n.255, p.533-546, 1997.

SÃO JOSÉ, A.R. Aspectos gerais das anonáceas no Brasil. In: SÃO JOSÉ, A.R.; SOUZA, I.V.B.; MORAIS, O.M.; REBOUÇAS, T.N.H. **Anonáceas, Produção e Mercado (Pinha, Graviola, Atemóia e Cherimólia)**. Vitória da Conquista: DFZ/UESB, 1997. p.5-6.

SÃO JOSÉ, A.R. **Cultivo e mercado da graviola**. Fortaleza: Frutal, 2003. 36 p.

SALISBURY, F.B.; ROSS, W.C. Carbon dioxide fixation and carbohydrate synthesis. In: _____ (Eds.). **Plant physiology**. Belmont: Wadsworth Publishing, 1992. 682p.

SAQIB, M.; ZÖRB, C.; SCHUBERT, S. Salt-resistant and salt-sensitive wheat genotypes show similar biochemical reaction at protein level in the first phase of salt stress. **J. Plant Nutrition and Soil Science**, v.169, n.4, p.542-548, 2006.

SARRUGE, J.R. Soluções nutritivas. **Summa Phytopathologica**, v.1, n.3, p.231-233, 1975.

SAVAZAKI, E.T. **Efeito do Ácido Indolbutírico no enraizamento de estacas de três cultivares de atemóia (*Annona squamosa* L. x *Annona cherimola* Mill.) e formação da muda.** 2000. 30f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2000.

SCALOPPI JUNIOR, E.J. **Propagação de espécies de Annonaceae com estacas caulinares.** 2007. 92f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Ciências Agronômicas e Veterinária, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2007.

SCALOPPI JUNIOR, E.J.; MARTINS, A.B.G. Clonagem de quatro espécies de *Annonaceae* potenciais como porta-enxertos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.25, n.2, p.286-289, 2003.

SCHWARZ, G.; MENDEL, R.R. Molybdenum cofactor biosynthesis and molybdenum enzymes. **Annual Review Plant Biology**, v.57, p.623-647, 2006.

SCHAFFER, B.; WHILEY, A.W.; SEARLE, C. Atmospheric CO₂ enrichment, root restriction, and photosynthesis, and dry-matter partitioning in subtropical and tropical fruit crops. **Horticultural Science**, v.34, n.6, p.1033-1037, 1999.

SCUC. *Annona* (*Annona cherimola*, *Annona muricata*, *Annona reticulata*, *Annona senegalensis* and *Annona squamosa*), **Field manual for extension workers and farmers.** Southampton: University of Southampton, 2006. 46p.

SEIGLER, D.S.; COUSSIO, J. D.; RONDINA, R.V.D. Cyanogenic plants from Argentina. **Journal of Natural Products**, v.42, n.2 p.179-182, 1979.

SHI, Y.; BYRNE, D.H.; REED, D.W.; LOEPPERT, R.H. Influence of bicarbonate level on iron-chlorosis development and nutrient uptake of the peach rootstock montclar. **Journal of Plant Nutrition**, v.16, n.9, p.1675-1689, 1993.

SILVA, A.Q.; SILVA, H. Nutrição e Adubação de Anonáceas. In: SÃO JOSÉ, A.R.; SOUZA, I.V.B.; MORAIS, O.M.; REBOUÇAS, T.N.H. **Anonáceas, produção e mercado (Pinha, Graviola, Atemóia e Cherimólia).** Vitória da Conquista: DFZ/UESB, 1997. p.118-137.

SILVA, A.Q. da.; SILVA, H.; ROQUE, M. L.; MALAVOLTA, E. Nutrição Mineral da Graviola (*Annona muricata* L). I. Sintomas de carência nutricionais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 8., 1986, Brasília. **Anais...** Brasília: SBF, 1986. p.297-301.

SILVA, E.B.S.; FARNEZI, M.M.M. Limitações nutricionais para o crescimento de mudas de graviola em casa de vegetação em latossolo vermelho distrófico do norte de Minas Gerais. **Bioscience Journal**, v.25, n.6, p.52-58, 2009.

SMET, S. de; VAN DAMME, P.; SCHELDEMAN, X.; ROMERO, J. Seed structure and germination of cherimoya (*Annona cherimola* Mill.). **Acta Horticulturae**, v.497, n.1, p.269-278, 1999.

SMETHURST, P.J. Soil solution and other soil analyses as indicators of nutrient supply: a review. **Forest Ecology and Management**, v.138, n.1-3, p.397-411, 2000.

SMITH, S.E.; READ, D.J. **Mycorrhizal Symbiosis**. London: Academic Press, 1995. 787p.

SIRIJOVSKI, N.; LUNDQVIST, J.; ROSENBACK, M.; ELMLUND, H.; ALKARADAGHI, S.; WILLOWS, R.D.; HANSSON, M. Substrate-binding model of the chlorophyll biosynthetic magnesium chelatase BchH subunit. **Journal of Biology Chemistry**, v.283, n.17, p.11652-11660, 2008.

SOARES, E.; LIMA, L.A.; MISCHAN, M.M.; MELLO, F.A.F.; BOARETTO, A.E. Efeito da relação entre teores trocáveis de Ca e Mg do solo na absorção de K por plantas de centeio. **Revista de Agricultura**, v.58, n.4, p.315-330, 1983.

SOARES, I; LIMA, S.G.; CRSÓSTOMO, L.A. Crescimento e composição mineral de mudas de gravioleira em resposta a doses de fósforo. **Revista de Ciências Agronômicas**, v.38, n.4, p.343-349, 2007

SOUZA, V.C.; LORENZI, H. **Botânica Sistemática**: guia ilustrado para identificação das famílias de Fanerógamas nativas e exóticas no Brasil, baseado em APG II. 2ª Ed. Nova Odessa: Plantarum, 2008. 640p.

SOUZA, C.A.S.; CORRÊA, F.L.O.; MENDONÇA, V.; CARVALHO, J.G. de. Crescimento de mudas de gravioleira (*Annona muricata* L) em substrato com superfosfato simples e vermicomposto. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.25, n.3, p.453-456, 2003.

SOTIROPOULOS, T.E.; THERIOS, I.N.; DIMAXI, K.N. Boron toxicity in kiwifruit plants (*Actinidia deliciosa*), treated with nitrate, ammonium, and a mixture of both. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v.166, n.4, p.529-532, 2003.

STAHL, A.; MOBERG, P.; YTTERBERG, J.; PANFILOV, O.; BROCKENHUUS VON LOWENHIELM, H.; NILSSON, F.; GLASER, E. Isolation and identification of a novel mitochondrial metalloprotease (PreP) that degrades targeting presequences in plants. **Journal of Biological Chemistry**, v.277, n.44, p.41931-41939, 2002.

STENZEL, N.M.C.; MURATA, I.M.; NEVES, C.S.V.J. Superação da dormência em sementes de aemóia e fruta-do-conde. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.25, n.2. p.305-308, 2003.

SULLIVAN, J.A.; SHIRASU, K.; DENG, X.W. The diverse roles of ubiquitin and the 26S proteasome in the life of plants. **Nature Reviews Genetics**, v.4, n.12, p.948-958, 2003.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 4.ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 719p.

TAKAHASHI, L.M. **Identificação de *Colletotrichum gloeosporioides* de atemóia (*Annona cherimola* x *Annona squamosa*), por meio de caracterização patogênica, cultural e morfológica**. 2008. 46f. Dissertação (mestrado) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2008.

TEIXEIRA, N. T. **Hidroponia**: Alternativa para pequenas áreas. Guaíba: Agropecuária, 1996. 86p.

TENNSTEDT, P.; PEISKER, D.; BOTTCHEER, C.; TRAMPCZYNSKA, A.; CLEMENS, S. Phytochelatin synthesis is essential for the detoxification of excess Zinc and contributes significantly to the accumulation of Zinc. **Plant Physiology**, v.149, p.938-948, 2009.

TERAGISHI, A., KANBARA, Y.; ONO, H. Effects of Foliar Application of Choline Chloride on the Quality of Winter-cropped Fig cv. Masui-Dauphine Grown in Hydroponics. **Journal of the Japanese Society Horticultural Science**. v.69, n.4 , p.390-395, 2000.

TER WELLE, B. Wood anatomy. In: MAAS, P.J.M.; Westra, L.Y.Th. (Eds.). **Flora Neotropica Monogr 57: *Rollinia***. New York: The New York Botanical Garden, 1992. p.21-26.

TISCHNER, R. Nitrate uptake and reduction in higher and lower plants. **Plant Cell & Environment.**, v.23, n.10, p.1005-1024, 2000.

TOKUNAGA, T. **A cultura da atemóia**. 2. Ed. Campinas: CATI, 2005. 80p. (Boletim técnico)

THOMPSON, W. A.; KRIEDEMANN, P. E.; CRAIG, I.E. Photosynthetic response to light and nutrients in sun-tolerant and shade-tolerant rainforest trees. I. Growth, leaf anatomy and nutrient content. **Australian Journal of Plant Physiology**, v.19, p.1-18, 1992.

USDA, ARS, **National Genetic Resources Program. Germplasm Resources Information Network - (GRIN)** [Online Database]. National Germplasm Resources Laboratory, Beltsville, Maryland. Disponível em: <<http://www.ars-grin.gov/cgi-bin/npgs/html/taxon.pl?455970>>. Acesso em: 12 ago. 2009.

VAN DER HEIJDEN, E.; BOUMAN, F. Studies in Annonaceae. X. Seed anatomy of the *Annona* group. **Botanische Jahrbücher für Systematik**, v.110, n.1, p.117-135, 1988.

VARGAS RAMOS, V.H. Cultura da gravioleira (*Annona muricata* L.). In: DONADIO, L.C.; MARTINS, A.B.G.; VALENTE, J. (Eds.). **Fruticultura tropical**. Jaboticabal: Funep, 1992. p.127-57.

VASQUES, M.C.P. **Influência do magnésio no desenvolvimento, trocas gasosas e rendimento de óleo essencial de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva**. 2007. 72f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2007.

VITI, R.; CINELLI, F. Lime-induced chlorosis in quince rootstocks: methodological and physiological aspects. **Journal of Plant Nutrition**, v.14, n.4, p.631-641, 1993.

VON CAEMMERER, S.; FARQUHAR, G.D. Some relationships between the biochemistry of photosynthesis and the gas exchange of leaves. **Planta**, v.153, n.4, p.376-387, 1981.

WALKER, C. J.; WEINSTEIN, J. D. Further characterization of the magnesium chelatase in isolated developing cucumber chloroplasts. **Plant Physiology**, v.95, n.4, p.1189-1196, 1991.

WARNER, R.L.; KLEINHOF, A. Genetics and molecular biology of nitrate metabolism in higher plants. **Physiology Plantarum**, v.85, n.2, p.245-252, 1992.

WATSON, D.J. The physiological basis of variation in yield. **Advances in Agronomy**, v.4, p.101-145, 1952.

WESTHEIMER, F.H. Why nature chose phosphates. **Science**, v.235, p.1173-1178, 1987.

WESTON, L.A.; ZANDSTRA, B.H. Effect of root container size and location on growth and yield of tomato transplants. **Journal of the American society for horticultural science**, v.111, n.4, p.498-501, 1986.

WHITE, P.J. The pathways of calcium movement to the xylem. **Journal of Experimental Botany**, v.52, n.358, p.891-899, 2001.

WILKINSON, R.E. **Plant: environment interactions**. New York: Marcel Dekker, 1994. 599p.

WINTZ, H.; VULPE, C. Plant copper chaperones. **Biochemical Society Transactions**, v.30, n.4, p.732-735, 2002.

WONG, S.C.; COWAN, I.R.; FARQUHAR, G.D. Stomatal conductance correlates with photosynthetic capacity. **Nature**, v.282, p.424-26, 1979.

XAVIER, F.E. **Análise de crescimento de quatro cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), em duas épocas de plantio, em Viçosa, Minas Gerais**. 1976. 26f. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1976.

XU, X.M.; MOLLER, S.G. Iron–sulfur cluster biogenesis systems and their crosstalk. **ChemBioChem.**, v.9, n.15, p.2355-2362, 2008.

YAMASAKI, H.; ABDEL-GHANY, SE.; COHU, C.M.; KOBAYASHI, Y.; SHIKANAI, T.; PILON, M. Regulation of copper homeostasis by micro-RNA in Arabidopsis. **Journal of Biological Chemistry**, v.282, p.16369-16378, 2007.

YAZAKI, Y.; ASUKAGAW, N.; ISHIKA, Y.; OHTA, E.; SAKATA, M. Estimation of cytoplasmic free Mg^{2+} levels and phosphorylation potentials in mung bean root-tips by in vivo P-31 NMR-spectroscopy. **Plant Cell Physiology**, v.29, n.6, p.919-924, 1988.

YAMADA, M.; HIDAHA, T.; FUKAMACHI, H. Heat tolerance in leaves of tropical fruit crops as measured by chlorophyll fluorescence. **Scientia Horticulturae**, v.67, n.1-2, p.39-48, 1996.

YOSHIMOTO, N.; INOUE, E.; WATANABE-TAKAHASHI, A.; SAITO, K.; TAKAHASHI, H. Posttranscriptional regulation of high-affinity sulfate transporters in Arabidopsis by sulfur nutrition. **Plant Physiology**, v.145, p.378-388, 2007.

ZEIGER, E. Fotossíntese: reações de carboxilação. In: TAIZ, L; ZEIGER, E. (Eds.) **Fisiologia Vegetal**. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2004a. p.173-196.

ZEIGER, E. Nutrição mineral. In: TAIZ, L; ZEIGER, E. (Eds.) **Fisiologia Vegetal**. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2004b. p.95-105.

ZENG, L.; YE, Q.; OBERLIES, N.H.; SHI, G.; GU Z-M.; HE, K.; MCLAUGHLIN, J.L. Recent Advances in Annonaceous Acetogenins. **Natural Products Reports**, v.13, n.4, p.275-306, 1996.