

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**INFLUÊNCIA DO MANGANÊS NO CRESCIMENTO E NA
COMPOSIÇÃO MINERAL DE MUDAS DE CARAMBOLEIRA.**

Amanda Hernandez

Engenheira Agrônoma

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL
Julho de 2009

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**INFLUÊNCIA DO MANGANÊS NO CRESCIMENTO E NA
COMPOSIÇÃO MINERAL DE MUDAS DE CARAMBOLEIRA.**

Amanda Hernandez

Orientador: Prof. Dr. William Natale

Co-orientador: Prof. Jairo Osvaldo Cazetta

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

**JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL
Julho de 2009**

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

AMANDA HERNANDES – Nascida em Pitangueiras – SP em 17 de fevereiro de 1983, graduou-se Engenheira Agrônoma em julho de 2007 na Faculdade de Engenharia/Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de Ilha Solteira, Ilha Solteira – SP. Durante o curso de graduação realizou diversos estágios, foi monitora de duas disciplinas, participou de diversos eventos, bolsista de Iniciação Científica (PIBIC/CNPq) por dois anos, dentre outras atividades realizadas. Em agosto de 2007 iniciou o Mestrado em Agronomia (Ciência do Solo) na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias/Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de Jaboticabal. Durante o mestrado foi bolsista nos primeiros doze meses da CAPES e até o final do curso do CNPq. Realizou diversas atividades como estágio docência, participação em simpósios e congressos, participação em grupos de pesquisa, condução de experimentos e organização de evento. Na vida acadêmica publicou diversos resumos em anais de eventos, além de artigos científicos em revistas com corpo editorial.

*Os grandes navegadores devem sua
reputação aos grandes temporais.
(Epicuro)*

Aos meus pais Antonio e Marta, e ao meu irmão Antonio Neto,
DEDICO

Às minhas avós Ruth e Carolina e aos meus avôs Antonio e Hermínio (*in
memoriam*),
OFEREÇO

A Deus
AGRADEÇO SEMPRE

AGRADECIMENTOS

A Deus, agradeço a tudo na vida.

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, campus de Jaboticabal, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Ciência do Solo, pela oportunidade oferecida.

À CAPES, pela concessão da bolsa durante os doze meses iniciais do mestrado, e ao CNPq, pela concessão da bolsa até o final do curso (Processo nº 136327/2008 7), sem as quais seria impossível a realização do projeto e do curso de mestrado.

Ao Professor Dr. William Natale, pela compreensão, paciência, incentivo, empenho pessoal, orientação, e sobretudo amizade, que tanto contribuíram para a minha formação profissional.

Ao Professor Dr. Jairo Osvaldo Cazetta, pela co-orientação, apoio e atenção.

A todos os professores da Pós-graduação que contribuíram para a minha formação profissional.

A todos meus familiares, em especial meus pais, Antonio e Marta, pelo exemplo de luta, carinho e apoio nesta caminhada.

Ao meu namorado Lucas, por todo carinho, compreensão, paciência, apoio e companheirismo em todos os momentos.

Aos amigos e colegas Danilo Eduardo Rozane, Liliane Maria Romualdo e Henrique Antunes de Souza, pelos ensinamentos, companheirismo e esforços não medidos durante o convívio.

À Fabiana, Cinara e Liliam, minhas irmãs!, que juntas superamos muitos obstáculos (Quarteto Fantástico!) e por todo carinho, companheirismo e, sobretudo à imensa amizade.

Às meninas da República Êta-Nois, por me acolherem, pelo convívio, pela amizade e por todos os bons momentos juntas!

A todos os amigos, colegas e companheiros de pesquisa, que estando presentes ou não, sempre torceram pelo meu sucesso e sempre me incentivaram e também, pela amizade durante essa caminhada.

A todos os funcionários do Departamento de Solos e Adubos, pelos auxílios e pela amizade, em especial à Cláudia.

Às funcionárias da seção de Pós-Graduação e aos funcionários da Biblioteca da FCAV, pelo atendimento e auxílio.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, meus sinceros agradecimentos.

MUITO OBRIGADA!!!

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS	ix
RESUMO	xi
SUMMARY	xii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Importância econômica e perspectivas da caramboleira.....	3
2.2. Aspectos gerais da caramboleira.....	4
2.3. Cultivo em solução nutritiva.....	6
2.4. Importância do manganês.....	7
2.5. Fracionamento do manganês.....	11
3. MATERIAL E MÉTODOS	13
3.1. Experimento em casa de vegetação.....	13
3.2. Fracionamento do manganês nas estruturas da caramboleira.....	16
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
4.1. Experimento em casa de vegetação.....	18
4.2. Fracionamento do manganês nos órgãos da caramboleira.....	39
5. CONCLUSÕES	45
6. REFERÊNCIAS	46

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Concentração de nutrientes da solução nutritiva.....	14
Tabela 2. Resumo das análises de variância e resultados médios dos teores de nutrientes e massa seca das folhas das mudas de caramboleiras, cultivadas em hidroponia, sob diferentes doses de manganês	19
Tabela 3. Resumo das análises de variância e resultados médios dos teores de nutrientes e massa seca do caule das mudas de caramboleiras, cultivadas em hidroponia, sob diferentes doses de manganês	20
Tabela 4. Resumo das análises de variância e resultados médios dos teores de nutrientes e massa seca das raízes das mudas de caramboleiras, cultivadas em hidroponia, sob diferentes doses de manganês	21
Tabela 5. Equações de regressão dos teores de nutrientes nas folhas, caule e raízes das mudas de caramboleiras, cultivadas em hidroponia, em função de diferentes doses de manganês	22
Tabela 6. Desdobramentos das interações para doses, dentro de cada época de coleta, dos teores de nutrientes nas folhas, caule e raízes das mudas de caramboleiras, cultivadas em hidroponia, em função de diferentes doses de manganês	23
Tabela 7. Resumo das análises de variância e resultados médios do acúmulo de nutrientes nas folhas das mudas de caramboleiras, cultivadas em hidroponia, sob diferentes doses de manganês	27
Tabela 8. Resumo das análises de variância e resultados médios do acúmulo de nutrientes no caule das mudas de caramboleiras, cultivadas em hidroponia, sob diferentes doses de manganês	28
Tabela 9. Resumo das análises de variância e resultados médios do acúmulo de nutrientes nas raízes das mudas de caramboleiras, cultivadas em hidroponia, sob diferentes doses de manganês	29

	Página
Tabela 10. Equações de regressão do acúmulo de nutrientes nas folhas, caule e raízes das mudas de caramboleiras, cultivadas em hidroponia, em função de diferentes doses de manganês	30
Tabela 11. Desdobramentos das interações para doses, dentro de cada época de coleta, do acúmulo de nutrientes nas folhas, caule e raízes das mudas de caramboleiras, cultivadas em hidroponia, em função de diferentes doses de manganês	31
Tabela 12. Resumo das análises de variância e resultados médios dos parâmetros biológicos das mudas de caramboleiras, cultivadas em hidroponia, sob diferentes doses de manganês	37
Tabela 13. Desdobramentos das interações para doses, dentro de cada época de coleta, para massa seca das folhas e raízes, e para área foliar das mudas de caramboleiras, cultivadas em hidroponia, sob diferentes doses de manganês	38
Tabela 14. Resumo das análises de variância e resultados médios da extração de manganês fracionado nas folhas, caule e raízes de mudas de caramboleira, cultivadas em hidroponia, em função de diferentes doses de manganês	41
Tabela 15. Desdobramentos das interações para doses, dentro de extrator e cada época de coleta, para extração de manganês fracionado nas folhas, caule e raízes de mudas de caramboleira, cultivadas em hidroponia, em função de diferentes doses de manganês.....	42

INFLUÊNCIA DO MANGANÊS NO CRESCIMENTO E NA COMPOSIÇÃO MINERAL DE MUDAS DE CARAMBOLEIRA.

RESUMO - A caramboleira apresenta boas perspectivas de comercialização, devido ao crescente aumento na demanda por frutas, tanto no mercado interno como externo, sendo uma opção promissora de cultivo. Porém, as principais áreas de produção de carambola estão localizadas em regiões caracterizadas por solos ácidos, com baixa saturação por bases e, frequentemente, possuem alumínio e manganês em quantidades suficientemente altas para limitar o desenvolvimento normal dos vegetais em geral. O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos do manganês no crescimento e na composição química da caramboleira, assim como na massa seca das plantas. O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados, constituídos de 4 doses de Mn (0; 0,5; 25 e 50 mg de Mn L⁻¹), 4 épocas de coleta (30, 60, 90 e 120 dias após o emprego das doses de Mn) e 3 repetições, em mudas conduzidas em solução nutritiva. Foram avaliados tanto aspectos biológicos como nutricionais das mudas de caramboleira, a fim de identificar a dose mais adequada de Mn e seus efeitos no crescimento dessa frutífera. As doses de Mn e as épocas de coleta influenciaram os teores de macro e micronutrientes, o acúmulo de elementos e a massa seca, em função do órgão analisado. Houve aumento na eficiência de absorção de Mn com o incremento das doses, entretanto, diminuição na eficiência de transporte e utilização do Mn. Os parâmetros biológicos avaliados apresentaram as maiores médias na concentração de 0,5 mg L⁻¹ de Mn. A maior parte do manganês foi determinada na fração residual, dando um indicativo de que o excesso de manganês absorvido pela planta estaria fazendo parte de compostos, exercendo funções específicas na caramboleira e não apenas livre nos tecidos.

Palavras-Chave: *Averrhoa carambola*, frutífera, micronutriente, Mn

INFLUENCE OF MANGANESE ON GROWTH AND MINERAL COMPOSITION OF SEEDLINGS OF STAR FRUIT TREE

SUMMARY - The star fruit tree presents good prospects of commercialization, due to the increasing demand for fruit, both in internal and external markets, being a promising option of cultivation. However, the main areas of star fruit production are located in regions characterized by acid soils, with low base saturation and often have aluminum and manganese in quantities high enough to limit the normal development of plants in general. The objective of this work was to evaluate the effects of manganese on growth and chemical composition of star fruit tree, as well as the dry mass of plants. The experimental design was a randomized block, consisted of 4 levels of Mn (0, 0.5, 25 and 50 mg Mn L⁻¹), 4 times of collection (30, 60, 90 and 120 days of employment of the levels of Mn) and 3 replications, on seedlings conducted in nutrient solution. Biological and nutritional aspects of star fruit seedlings to identify the most appropriate level of Mn and its effects on growth of this fruitful were evaluated. The levels of Mn and times of collection influenced the contents of macro and micronutrients, the accumulation of elements and the dry mass depending of the organ examined. There was an increase in the efficiency of absorption of Mn with increasing levels, however, decrease the efficiency of transport and use of Mn. The biological parameters evaluated showed the highest average in the concentration of 0.5 mg L⁻¹ Mn. Most of the manganese was determined in the residual fraction, giving an indication that the excess of manganese absorbed by the plant would be part of compounds, performing specific functions in star fruit tree and not free in the tissues.

Keywords: *Averrhoa carambola*, fruitful, micronutrients, Mn

1. INTRODUÇÃO

A fruticultura tem ocupado lugar de destaque na agricultura mundial, principalmente pela possibilidade de ocupar solos considerados inadequados à agricultura tradicional. O Brasil desponta como um dos maiores produtores mundiais de frutas, e o setor vem se desenvolvendo de modo acelerado, com reflexos positivos na economia nacional.

A carambola apresenta boas perspectivas de comercialização, pois há crescente aumento na demanda por frutas, tanto no mercado interno como externo, sendo uma opção de cultivo promissor para o estado de São Paulo. Porém, as principais áreas de produção estão localizadas em regiões caracterizadas por solos ácidos, com baixa saturação por bases e, frequentemente, possuem alumínio e manganês em quantidades suficientemente altas para limitar o desenvolvimento normal dos vegetais em geral.

Para a obtenção de altos índices de produção, deve-se fazer um bom planejamento para a implantação do pomar, pois a cultura, sendo perene, explorará por muitos anos o mesmo local. Sendo assim, a escolha das melhores mudas e cultivares adequados é fundamental para o sucesso da formação do pomar. Outro fator determinante para obtenção de altas produções, bem como ótima qualidade de frutos, é o equilíbrio no fornecimento de macro e micronutrientes, os quais atuam direta ou indiretamente no metabolismo vegetal. No caso da caramboleira, inexistem estudos indicando quantidades limitantes e/ou adequadas de micronutrientes, havendo apenas poucos trabalhos que relataram altos teores foliares de manganês (PRADO, 2003; LEAL, 2003), evidenciando a necessidade de estudos específicos em nutrição com essa frutífera.

Tendo em vista a escassez de informações sobre a nutrição da caramboleira, principalmente em relação aos micronutrientes, torna-se importante a avaliação dos efeitos do manganês no crescimento e na composição química de tecidos dessa frutífera, assim como na produção de massa seca. Por isso, com o objetivo de avaliar esses efeitos na planta, assim como verificar a distribuição do manganês nos tecidos dessa frutífera, o que poderia explicar suas funções específicas na caramboleira ou os

altos teores nos tecidos foliares, foi conduzido um experimento em solução nutritiva, testando-se doses de Mn em mudas de caramboleira, coletadas mensalmente até os 120 dias.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Importância econômica e perspectivas da caramboleira

O consumo de frutas frescas é essencial na dieta humana, pois, são alimentos ricos em vitaminas, sais minerais e fibras, razão pela qual tem aumentado a demanda por frutas no mundo, sendo que a participação do Brasil no mercado externo tem aumentado consideravelmente. A produção mundial e a área plantada com frutas aumentaram 13 e 11%, respectivamente, entre 1996 e 2006. O Brasil, nesse período, obteve incremento de produtividade superior a 76%, atingindo em 2006, 13,2 toneladas por ha por ano, representando aumento superior a 90% da média mundial para o mesmo ano (FAO, 2009). Entretanto, apesar da melhoria na eficiência produtiva ao longo dos anos, o Brasil está em 12º lugar no *ranking* mundial.

A caramboleira é considerada fruteira de grande potencial mercadológico devido, entre outros fatores, ao rápido desenvolvimento, alta produtividade e seus frutos possuindo sabor e aparência peculiares (SAÚCO, 1994). A expansão comercial da cultura da carambola é decorrente de melhorias na colheita e nas práticas de cultivo, bem como no controle do transporte da fruta e na seleção de cultivares mais doces, com alta produtividade e boa qualidade (GALÁN SAÚCO et al., 1993). Não há dados de produção mundial da fruta, mas há relatos de estimativas em diversos países. As maiores produções de carambola ocorrem na Indonésia, Malásia, Taiwan e Tailândia, enquanto no Brasil e no México as produções estão em plena expansão (GALÁN SAÚCO et al., 1993; ARAÚJO, 2000; DONADIO et al., 2001).

No Brasil, essa frutífera é cultivada em todo o território nacional, exceto em regiões com baixas temperaturas, sendo a produção estimada em 3 mil toneladas por ano (BASTOS, 2002). Em 2006, o volume de carambolas comercializadas pela Ceagesp foi em torno de 3,7 mil toneladas (AGRIANUAL, 2008). Esse volume ainda é baixo, quando comparado ao de países tradicionais produtores de frutas, ocorrendo por diversos

fatores, como a escassez de resultados de pesquisa sobre tecnologia de produção para as condições brasileiras e, em especial, sobre aspectos ligados à nutrição e adubação (PRADO et al., 2007).

Atualmente, o estado de São Paulo destaca-se como principal consumidor da fruta *in natura* (ARAÚJO & MINAMI, 2001) e, principal produtor de carambola, com cerca de 68% da produção nacional concentrada nos municípios de Mirandópolis, Campinas, Taquaritinga e Lins (BASTOS et al., 2004).

PRADO et al. (2007) observaram que a produtividade da caramboleira varia em função dos tratos culturais e idade da frutífera, podendo plantas jovens atingir 45t ha^{-1} de frutos, desde que atendidas as exigências nutricionais. NATALE et al. (2008) alcançaram, em plantas adultas de caramboleira, produtividade acumulada de $123,5\text{t ha}^{-1}$ em cinco anos consecutivos. Esses valores de produção, encontrados em condições brasileiras, estão próximos daqueles obtidos nos Estados Unidos (CAMPBELL, 1989; CRANE, 1994).

O preço da carambola é sazonal, variando com a época e a oferta/procura internacional, registrando picos de até US\$ 25 para a caixa de 2kg (tipo exportação), conforme relato de BASTOS (2004). Atualmente, o preço da carambola em janeiro (plena safra) variou de R\$ 5,00 a 7,00, ficando em média a R\$ 6,00/kg da fruta (CEASA DE CAMPINAS, 2009). O preço na entressafra é superior a este, mas não divulgado pelos órgãos oficiais.

2.2. Aspectos gerais da caramboleira

A caramboleira (*Averrhoa carambola* L.) é uma frutífera tropical exótica que atualmente está distribuída por todo o mundo, podendo ser encontrada na Austrália, Filipinas, além de ilhas do Pacífico Sul, América Central e do Sul, Caribe, África, Israel e em áreas subtropicais dos Estados Unidos (LENNOX & RAGOONATH, 1990).

Não se conhece o centro de origem exato da caramboleira, mas se acredita ser nativa do Sudeste Asiático (GALÁN SAÚCO et al., 1993; NAKASONE & PAULL, 1998; MANICA, 2000) e, provavelmente, originária da Malásia ou Indonésia (POPENOE, citado por DONADIO et al., 2001).

A caramboleira pertence à divisão *Magnoliophyta*, classe *Magnoliopsida*, subclasse *Rosidae*, ordem *Geraniales*, família *Oxalidaceae* (USDA, 2009). É uma árvore de pequeno a médio porte, perene, de crescimento rápido, alcançando até 15 m de altura aos 25 anos de idade. Seus frutos, bagas carnosas, têm forma ovóide ou elipsoidal, apresentando cinco costelas ou asas longitudinais, conferindo-lhe formato de estrela de cinco pontas, quando seccionados transversalmente (DONADIO et al., 2001).

A planta se desenvolve melhor em clima úmido com distribuição uniforme das chuvas durante o ano todo, e a temperatura ideal para seu cultivo varia entre 21 e 32°C, sem que haja indicação de paralisação do crescimento em temperaturas que ultrapassem os extremos (MORTON, 1987; NGAH et al., 1989). É pouco exigente quanto a solos, desde que bem drenados (OCHSE et al., 1966), mas se desenvolve bem naqueles profundos, férteis, em várias texturas e ricos em matéria orgânica (DONADIO et al., 2001). São indicados solos com pH entre 5,5 e 6,5, embora a planta tolere acidez abaixo de 5,5 (CAMPBELL, 1989).

No Brasil, a caramboleira é considerada uma planta exótica, sendo cultivada em todo o País, principalmente nas regiões mais quentes e sem ocorrência de geadas (BASTOS, 2004).

A carambola é consumida principalmente como fruta fresca ou na forma de compotas e doces caseiros (OLIVEIRA et al., 1989). Pode ser usada em saladas de frutas, saladas, como guarnição para carnes ou pode ser processada para a produção de pickles, molhos, licores e geléias. O fruto é uma importante fonte nutricional, apresentando boa quantidade de vitaminas C e A, potássio e vários aminoácidos, bem como apresenta baixo valor calórico e razoável conteúdo de fibra, o que coloca a carambola como interessante opção em dietas nutricionais equilibradas (GALÁN SAÚCO et al., 1993; CRANE, 1994; SIMONNE et al., 2007).

2.3. Cultivo em solução nutritiva

A hidroponia é uma técnica de cultivo de plantas na ausência de terra, sendo bastante difundida em todo o mundo e muito utilizada no Brasil. Surgiu como tecnologia racional, que busca a otimização no uso da água, do espaço, do tempo, dos nutrientes e da mão-de-obra (SANTOS, 2000).

O termo hidroponia (hidro = água e ponos = trabalho) foi criado em 1930 por Dr. W.F. Gerike, da Universidade da Califórnia, que popularizou o cultivo de plantas na ausência do solo (JONES Jr., 1982). Segundo FURLANI (1999), o cultivo hidropônico no Brasil foi introduzido em 1987, por produtores paulistas que trouxeram a técnica do Japão.

O cultivo hidropônico emprega solução nutritiva, sendo um sistema homogêneo no qual os nutrientes necessários à planta estão dispersos, geralmente na forma iônica, e em proporções adequadas, contendo oxigênio e estando na temperatura ideal à absorção de elementos (COMETTI et al., 2006).

Nos últimos anos, a busca por uma agricultura com menor consumo energético e ecologicamente sustentável tem estimulado a pesquisa na identificação de mecanismos responsáveis pela maior eficiência nutricional (TOMAZ et al., 2003). Neste sentido, o cultivo de plantas em vasos, utilizando-se da solução nutritiva, é uma ferramenta útil nos estudos de nutrição mineral e na busca de genótipos com maior eficiência nutricional, melhorando desta forma a produção de mudas com menor custo em fertilizantes. A vantagem de estudos em solução nutritiva, em relação ao solo, é que este último constitui-se num meio heterogêneo, altamente complexo e interativo (ADAMS, 1994).

Segundo COMETTI et al. (2006), em condições normais, todos os nutrientes podem ser absorvidos da solução nutritiva pelas raízes em quantidades suficientes para atender às exigências da planta. Em solução nutritiva, a concentração total dos nutrientes na solução pode ser estimada frequentemente, medindo-se a condutividade

elétrica (CE) da solução, inferindo-se a taxa de absorção. Os micronutrientes contribuem com menos de 0,1% da CE da solução.

Nos cultivos em solução nutritiva há a possibilidade de se trabalhar com omissão total de nutrientes, principalmente os micronutrientes, o que é difícil em experimentos conduzidos em solo.

2.4. Importância do manganês

Para a obtenção de altos índices de produção e ótima qualidade de frutos, é necessário haver equilíbrio no fornecimento de macro e micronutrientes, os quais atuam direta ou indiretamente no metabolismo vegetal.

Os micronutrientes (B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo e Zn) são requeridos pelas plantas em pequenas quantidades, sendo porém, fundamentais para o seu adequado crescimento e desenvolvimento. Mazé & McHargue demonstraram a essencialidade do Mn no ano de 1915 (DECHEN & NACHTIGALL, 2006a). O Mn é um elemento essencial à vida das plantas, satisfazendo tanto o critério direto como o indireto de essencialidade (ARNON, 1950). Na ausência do elemento são observados sintomas característicos de deficiência, como clorose internerval das folhas novas, permanecendo as nervuras verdes e grossas, além do aparecimento de manchas pequenas e necróticas nas folhas, que podem ficar deformadas. Não se considerando o cloro (Cl) que aparece na massa seca em níveis de décimo por cento, ou às vezes maiores, o Mn é o segundo micronutriente mais exigido pelas culturas, aparecendo logo depois do ferro (Fe), de acordo com MALAVOLTA (2006).

O manganês está envolvido em vários processos metabólicos, incluindo a ativação e constituição de enzimas. Participa da fotólise da água (reação de Hill), que ocorre nos cloroplastos, em que elétrons liberados da água através de enzimas que contêm Mn são transferidos para o fotossistema II, a molécula da clorofila. Várias enzimas da fase escura da fotossíntese são ativadas pelo Mn, tanto em plantas que fixam o carbono via

C₃ quanto naquelas que o fazem via C₄; a enzima málica e a carboxiquinase fosfoenolpirúvica parecem ter exigência por Mn (MALAVOLTA et al., 1997; MALAVOLTA, 2006). A deficiência de Mn prejudica a estrutura dos cloroplastos, afetando a fotossíntese, o que diminui o nível de carboidratos solúveis na planta. Como a reação à luz durante a fotossíntese é seriamente prejudicada sob deficiência de Mn, outras reações associadas ao transporte de elétrons também o são, como a fotofosforilação, a redução de CO₂, de nitrito e de sulfito (KIRKBY & RÖMHELD, 2007).

O manganês faz, ainda, parte da superóxido dismutase Mn-SOD, que desempenha papel na proteção das células contra os efeitos deletérios dos radicais superóxido livres, os quais são formados nas várias reações em que o oxigênio molecular está envolvido. A enzima ocorre na mitocôndria, nos peroxissomas e nos glioxissomas (KIRKBY & RÖMHELD, 2007). Por isso, quando há carência de Mn, ocorre diminuição na elongação celular, o que pode indicar inibição da síntese de lipídeos ou metabólitos secundários como ácido giberélico e isoprenóides (MALAVOLTA et al., 1997). O manganês afeta, também, a respiração, já que enzimas que atuam na glicólise e no ciclo do ácido cítrico são ativadas pelo elemento, como as deshidrogenases, quinases e descarboxilases (MALAVOLTA, 2006).

O manganês atua como importante co-fator para várias enzimas-chave na biossíntese dos metabólitos secundários da planta, associados à via do ácido shiquímico, incluindo aminoácidos aromáticos fenólicos, ligninas e flavonóides (BURNELL, 1988). Assim, concentrações mais baixas de compostos a partir desses aminoácidos foram detectadas em tecidos deficientes em Mn, o que pode ser a causa da maior suscetibilidade a doenças de plantas deficientes nesse nutriente (GRAHAM, 1983; MALAVOLTA, 2006).

O teor de manganês nas folhas, muitas vezes, pode ser afetado por infecções de doenças, levando ao diagnóstico equivocado de deficiência ou toxicidade de Mn (HUMPHRIES et al., 2006). Segundo esses autores, o teor de manganês no local da infecção pode aumentar, em contraste direto com o teor total de manganês na planta, que diminuiu. Vários mecanismos têm sido propostos para explicar a relação entre infecções de doenças e a resistência das plantas conferida pelo manganês. Entre elas a

lignificação, com níveis máximos de sua síntese alcançados com teores de manganês ideais, conferindo máxima produção da biomassa (BROWN et al., 2006); a concentração de fenóis solúveis, cuja deficiência de manganês leva a uma diminuição dos fenóis (BROWN et al., 2006); inibição da aminopeptidase, que fornece aminoácidos essenciais para o desenvolvimento do fungo, ao abrigo das condições de deficiência de manganês (HUBER & KEELER, 2006); inibição de pectina metilesterase, que é uma enzima fúngica degradante das células das paredes da planta hospedeira, sob condições de deficiência de manganês (SADASIVAN, 2006), levando à inibição da fotossíntese e, conseqüentemente, à diminuição na produção de exsudatos nas raízes, tornando-se assim mais susceptíveis à invasão de patógenos pela raiz (GRAHAM & ROVIRA, 2006). Plantas capazes de mobilizarem grandes quantidades de Mn^{2+} , que são tóxicas para os organismos patogênicos, mas não a elas na rizosfera, podem inibir diretamente a patogenicidade do ataque (GRAHAM & WEEB, 1991).

No Brasil, o estado de São Paulo é o principal produtor de carambola, destacando-se as regiões de Mirandópolis e de Jaboticabal, que apresentam a maior produção e a maior área de cultivo de caramboleiras, respectivamente. Porém, as principais áreas de produção de carambola estão localizadas em regiões de solos ácidos e com baixa fertilidade, os quais, segundo FALESI (1972), possuem manganês e alumínio trocável em quantidades suficientemente altas para limitar o desenvolvimento normal dos vegetais em geral. Essa limitação ocorre devido à liberação de manganês em níveis tóxicos, em virtude do aumento da solubilidade de Mn em função da diminuição do pH (FOY, 1973).

Na presença de quantidades excessivas das formas trocável ou solúvel de Mn no meio de crescimento, os tecidos vegetais apresentarão, também, elevadas quantidades desse elemento, podendo atingir níveis tóxicos, visto que as plantas absorvem e transportam o elemento em quantidades elevadas, resultando em acúmulo nas folhas e produzindo sintomas bem definidos (FOY, 1973; PAVAN & BINGHAM, 1981). Segundo FOY (1976) e FOY et al. (1978), podem ocorrer sintomas de toxicidade nas raízes, geralmente após as folhas terem apresentado sintomas.

Concentrações tóxicas de Mn no solo podem ser neutralizadas por calagem, elevando o pH, precipitando o excesso de Mn disponível, o que reduz sua absorção pelas plantas (MALAVOLTA & KLIEMANN, 1985; DONADIO et al., 2001). De acordo com esses autores, quando se eleva o pH em uma unidade, a concentração de manganês na solução diminui cerca de cem vezes. Além de elevar o pH, a calagem proporciona incremento na concentração de cálcio na zona radicular, podendo reduzir a absorção e, conseqüentemente, o efeito tóxico do manganês em decorrência da competição pelos mesmos sítios de absorção (FOY, 1973; MALAVOLTA et al., 1997). Porém, a elevação excessiva do pH do solo causa diminuição na disponibilidade dos micronutrientes catiônicos, dentre os quais o Mn, provocando o aparecimento de sintomas de deficiência e prejudicando o desenvolvimento das plantas.

Para diagnosticar o excesso ou a deficiência de Mn em plantas, existem dois métodos, os quais podem ser usados separadamente ou em combinação: sintomas foliares característicos de anomalias e análise química do tecido vegetal, sendo que, acima ou abaixo do teor adequado, a produção começa a ser prejudicada (ANDREW & HEGARTY, 1969).

O efeito prejudicial do excesso de Mn é difícil de ser estudado isoladamente, visto que esse nutriente interage com outros elementos como, por exemplo, o ferro, cuja deficiência é induzida na presença de alta concentração de Mn no solo (LEE, 1972), promovendo o aparecimento de manchas necróticas ao longo do tecido condutor, com encarquilhamento das folhas mais largas (MALAVOLTA, 2006). Em goiabeira, os sintomas foliares de toxidez evidenciaram-se em salpicos adensados de minúsculas pontuações escuras nas folhas mais velhas; folhas novas apresentaram dimensões menores, cloróticas e com reticulado verde nas nervuras; formação de pontuações circulares castanhas espalhadas ou fundidas ao longo ou entre as nervuras (SALVADOR et al., 2003).

MILLER-IHLI (1996), avaliando o teor de nutrientes contidos em frutos de caramboleira comercializados nos Estados Unidos, obteve valor de $0,035 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$ de Mn, enquanto CHATTOPADHYAY & GHOSH (1994) obtiveram teor de $0,121 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$ de Mn em frutos maduros de caramboleira.

Na literatura, existem relatos de teores de Mn em folhas de caramboleira variando de 73 a 1.745 mg kg⁻¹ (SILVA et al., 1984; CRANE, 1998; LEAL, 2003; PRADO, 2003). Essa variação pode ser devida às variações na amostragem, visto que folhas mais velhas apresentam maior teor de Mn que folhas jovens, ou ainda, devido à diferença entre cultivares, idade das plantas, produtividade, entre outros.

A discrepância entre a necessidade e o teor de Mn encontrado nos tecidos vegetais indica que, ao contrário da maioria dos nutrientes, sua absorção é pouco regulada pela planta, o que pode levar ao acúmulo de Mn a níveis tóxicos (CLARKSON, 1988).

É importante ressaltar que esses teores foliares de Mn encontrados em caramboleiras são considerados muito altos, quando comparados com outros micronutrientes e, também, com o manganês em outras frutíferas, como a goiabeira, na qual os teores de Mn considerados adequados variam entre 202 e 398 mg kg⁻¹, segundo MALAVOLTA et al. (1997) e entre 40 e 80 mg kg⁻¹, de acordo com NATALE et al. (1996). Esses altos teores foliares de Mn em caramboleiras aproximam-se e, até ultrapassam, os teores foliares de macronutrientes, como o P, que variou entre 600 e 800 mg kg⁻¹; e o de S, que variou entre 1.300 e 1.500 mg kg⁻¹ no experimento de PRADO (2003). Isso evidencia a necessidade de mais estudos, a fim de se avaliar a importância do Mn para a caramboleira, e esclarecer se o elemento desempenha alguma função específica à sobrevivência dessa frutífera, ou, se a planta apenas apresenta consumo de luxo, tolerando o excesso do micronutriente em seus tecidos.

2.5. Fracionamento do manganês

O conhecimento sobre as funções dos nutrientes nas plantas é fundamental, assim como a distribuição dos elementos nos tecidos e estruturas das plantas. Porém, informações a respeito do fracionamento do manganês nos tecidos vegetais são escassas.

Com a finalidade de pesquisar métodos de fracionamento do Mn em tecidos vegetais, ou trabalhos que indiquem como esse elemento se distribui nos tecidos, realizou-se uma busca no CABAbstract, a qual englobou mais de 1000 publicações relacionadas a estudos com manganês, sendo que nenhum trabalho tratou do fracionamento desse elemento nos tecidos das plantas e, apenas pouquíssimos trabalhos relataram sua distribuição. Um desses estudos sobre o teor de manganês adequado às plantas sugere que os cloroplastos acumulam Mn em maior quantidade que o restante do tecido foliar (UDEL'NOVA et al., 1976), enquanto outro sugere que não há diferença (WHATLEY et al., 1951).

Folhas de plantas de chá com altos teores de Mn, porém não tóxicos, mostraram maior acúmulo de Mn na epiderme, com níveis relativamente baixos nas células parenquimáticas. O Mn pareceu acumular-se mais fortemente nas paredes que no interior das células epidérmicas, de onde foi facilmente lavado (MEMON et al., 1981), sugerindo que o excesso do elemento estava prontamente disponível nos tecidos, não exercendo qualquer função específica.

Verifica-se, portanto, a carência de informações sobre o tema, sendo os poucos resultados disponíveis controversos, razão pela qual se justifica o estudo. Devido a isso, utilizou-se uma sequência de extração de manganês nas diferentes estruturas das mudas de caramboleira. Isso poderá indicar como o manganês está distribuído nos tecidos dessa frutífera, se o Mn se encontra na forma solúvel ou fazendo parte de compostos, o que poderia explicar suas funções específicas na caramboleira ou os altos teores nos tecidos foliares.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Experimento em casa de vegetação

O experimento foi realizado em casa de vegetação, no período de outubro/2008 a março/2009, na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária – Unesp, Câmpus Jaboticabal, situada no município de Jaboticabal/SP, com coordenadas geográficas de 21°15' S de latitude e 48°18' W de longitude, e altitude de 575 metros.

A frutífera estudada foi a caramboleira (*Averrhoa carambola*), cv. BR96, enxertada sobre porta-enxerto obtido por semente. O meio de cultivo foi constituído de um sistema hidropônico, conduzido em vasos com solução nutritiva.

O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados, com 3 repetições, em esquema fatorial 4x4. Assim, foram utilizadas 4 doses de Mn e 4 épocas de coleta das plantas ao longo do período de estudo, num total de 48 unidades experimentais. Cada unidade experimental constou de 2 mudas de caramboleira, enxertadas há um ano, conduzidas em vaso de 5,5L. As mudas foram submetidas à aplicação de doses de Mn, na forma de $MnSO_4$, sendo D_0 = zero; D_1 = 0,5; D_2 = 25 e D_3 = 50 mg de Mn L^{-1} . A dose D_1 é a dose padrão, estabelecida através da concentração de Mn contida na solução nutritiva de FURLANI (1999) e recomendada por ROZANE et al. (2007) como a mais adequada para a condução de mudas de caramboleira. As doses D_2 e D_3 foram estabelecidas a partir de ensaios preliminares, em que foram testadas doses de manganês crescentes em solução nutritiva com mudas de caramboleiras, até que as plantas apresentassem efeitos visuais de excesso de Mn. As coletas para análises foram realizadas aos 30, 60, 90 e 120 dias após a aplicação dos tratamentos, coletando-se 3 repetições de cada dose de Mn, em cada época de coleta, totalizando 12 vasos por época.

Antes da aplicação dos tratamentos, durante os primeiros 15 dias de adaptação, as mudas foram mantidas em solução nutritiva completa de FURLANI (1999) conforme

Tabela 1, diluída a 1/4 da concentração usual. Após esse período as plantas foram submetidas à solução nutritiva completa, com exceção do Mn, sendo este empregado em diferentes doses, conforme as quantidades estabelecidas em cada tratamento.

Tabela 1. Concentração de nutrientes da solução nutritiva

Nº	Sal ou Fertilizante	mg L ⁻¹
1	Nitrato de Cálcio Hydro® Especial	750
2	Nitrato de Potássio	500
3	Fosfato Monoamônico	150
4	Sulfato de Magnésio	400
5	Sulfato de Cobre	0,15
6	Sulfato de Zinco	0,5
7	Ácido Bórico	1,5
8	Molibdato de Amônio	0,15
9	Dissolvine® (FeEDTA-13% Fe)	13,8

Fonte: FURLANI (1999).

Para o manejo da solução nutritiva ao longo do período de estudo, o pH foi monitorado em dias alternados, empregando-se um medidor portátil (PG 1400), ajustado a $5,5 \pm 0,5$, usando-se solução NaOH ou HCl 0,1 mol L⁻¹. Manteve-se o pH nessa faixa pois é onde obtêm-se a maior disponibilidade de manganês na solução nutritiva, não interferindo na disponibilidade dos outros nutrientes (LUCAS & DAVIS, 1961). Na mesma ocasião, era monitorada a condutividade elétrica da solução nutritiva com um condutivímetro portátil (CG 220), mantendo-a com valor entre 2,0 e 2,4 dS m⁻¹, já que não há indicação para a caramboleira. A reposição da água evapotranspirada foi realizada com água destilada e deionizada. A solução nutritiva foi oxigenada durante todo o período diurno e renovada a cada 30 dias, até o final do experimento. O controle de pragas e doenças foi realizado durante todo o período experimental, conforme sua ocorrência.

O crescimento das plantas foi determinado através da avaliação de parâmetros biológicos como o diâmetro do caule do porta-enxerto, o diâmetro do caule do enxerto, a altura das plantas e a área foliar, a cada 30 dias, em cada coleta. Para tanto, utilizou-se um paquímetro, sendo o diâmetro do porta-enxerto determinado 10 cm acima da base do caule e o diâmetro do enxerto determinado 10 cm acima do ponto de enxertia. A altura das plantas foi avaliada com a ajuda de uma trena e a área foliar com o auxílio de um aparelho integrador de áreas portátil LI-COR modelo LI-3100. À cada coleta, as plantas foram divididas em folhas, caule e raízes. No laboratório, as estruturas foram lavadas inicialmente com água destilada, em seguida com detergente neutro na concentração de 0,1%, depois com solução de HCl na concentração de 3% em volume, e por último com água destilada e deionizada. Imediatamente após a lavagem, as estruturas foram colocadas em sacos de papel e postas para secar em estufa de circulação forçada de ar, com temperatura controlada (65-70°C), até massa constante.

As diferentes partes da caramboleiras foram pesadas e moídas em moinho tipo Willey (peneira de 20 - 40 mesh), facilitando assim, sua manipulação e assegurando a homogeneidade. As amostras foram armazenadas para as posteriores determinações químicas dos teores de macro e micronutrientes no tecido vegetal, seguindo a metodologia descrita por BATAGLIA et al. (1983).

A partir do teor de nutrientes no tecido vegetal (T) e da massa seca (MS), calculou-se o acúmulo dos nutrientes (A) nos diferentes órgãos das mudas de caramboleira, ao longo do período experimental, pela fórmula:

$$A \text{ (mg ou } \mu\text{g planta}^{-1}\text{)} = T \times MS$$

A partir da massa seca e do conteúdo dos nutrientes na planta, foram calculados os seguintes índices:

- eficiência de absorção = (conteúdo total de manganês na planta)/(massa seca de raízes), conforme SWIADER et al. (1994);
- eficiência de transporte = ((conteúdo de manganês na parte aérea)/(conteúdo total de manganês na planta)) x 100, de acordo com LI et al. (1991);

- eficiência de utilização = (massa seca total produzida)²/(conteúdo total de manganês na planta), segundo SIDDIQI & GLASS (1981).

Com os dados obtidos foram realizadas análises de variância para os diversos parâmetros estudados. Para avaliar o efeito das doses de manganês e das épocas de coleta sobre as determinações na planta, foi utilizada a análise de regressão polinomial (ESTAT, 1992).

3.2. Fracionamento do manganês nas estruturas da caramboleira

Para a realização do fracionamento do manganês nos tecidos da caramboleira, como não há indicações na literatura a respeito da metodologia, estabeleceu-se uma sequência de extrações, com a finalidade de se obter resultados preliminares que pudessem indicar a forma em que o manganês se encontra nos tecidos dessa frutífera, o que poderia explicar suas funções específicas na planta ou seu alto teor nos tecidos vegetais.

As amostras de folhas, caule e raízes foram submetidas à extração sequencial com água, DTPA (RAIJ et al., 2001) e HCl 1N, respectivamente. Para isso, utilizou-se 0,5g de cada amostra, acondicionadas individualmente em cartuchos feitos com papel de filtro, dobrando-se as pontas e amarrando as extremidades, a fim de permitir a passagem dos extratores pelo material dos diferentes tecidos das mudas de caramboleira. Cada cartucho foi inserido em tubo de digestão, nos quais realizou-se a sequência de extrações.

As extrações foram realizadas sequencialmente, uma de cada vez, colocando-se 20 mL de cada extrator (água, DTPA, HCl 1N, respectivamente), em cada tubo de ensaio, mantendo-se por 20 minutos em banho-maria a 70°C. Após esse período, as soluções das extrações foram transferidas para outros tubos de ensaio. Esse procedimento foi realizado 3 vezes seguidas para cada extrator. Ao término das extrações, os tubos

contendo os extratos provenientes das extrações com água e DTPA foram colocados em estufa, à temperatura constante de 90°C para evaporação. Os tubos contendo solução HCl 1N proveniente da extração foram colocados em bloco digestor, à temperatura constante de 90°C para evaporação da solução na capela de exaustão de gases. Posteriormente, todos os tubos foram submetidos à digestão nitro-perclórica. Em seguida, diluiu-se o extrato a 50mL, e o Mn foi determinado em espectrofotômetro de absorção atômica.

Ao término das três extrações, os cartuchos contendo as amostras foram submetidos à digestão nitro-perclórica e diluídas a 50mL. Assim, realizou-se a leitura de Mn por espectrofotometria de absorção atômica, a fim de quantificar o teor de manganês residual, ou seja, aquele associado fortemente ao tecido.

É importante ressaltar que essas extrações sequenciais foram realizadas em testes preliminares, fazendo-se a primeira extração com éter, a fim de remover a parte apolar da amostra, ou seja, o Mn associado a lipídeos. Porém, como não se obteve qualquer valor de Mn na leitura desse extrato, optou-se por excluir essa extração da sequência utilizada no presente estudo.

Com os dados obtidos foram realizadas análises de variância para os diversos parâmetros estudados. Para avaliar o efeito dos extratores foi realizado teste de Tukey a 5% de probabilidade e para avaliar o efeito das doses de manganês e das épocas de coleta sobre as determinações na planta, foi utilizada a análise de regressão polinomial (ESTAT, 1992).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Experimento em casa de vegetação

Os teores de macro e micronutrientes nas folhas das mudas de caramboleiras e sua respectiva massa seca estão apresentados na Tabela 2, enquanto os teores e massa seca do caule e raízes encontram-se nas Tabelas 3 e 4, respectivamente. O acúmulo dos elementos nos diferentes órgãos das mudas são apresentados na Tabela 7 para as folhas, na Tabela 8 para o caule e na Tabela 9 para as raízes. As equações dos estudos de regressão encontram-se nas Tabelas 5 e 10 para os teores de nutrientes e seus acúmulos, respectivamente. Os desdobramentos das interações para teores de nutrientes encontram-se na Tabela 6, e para seus acúmulos, na Tabela 11.

Verifica-se que a aplicação de manganês promoveu diferenças significativas nos teores dos nutrientes determinados quimicamente, considerando-se todas as estruturas da planta (Tabelas 2, 3 e 4). O acúmulo de elementos apresentou comportamento variável em função do órgão e do nutriente analisado, não apenas com a aplicação das doses de Mn, como também no decorrer das épocas de coleta (Tabelas 7, 8 e 9).

Nas folhas, com o aumento das doses de Mn na solução nutritiva, houve diminuição linear nos teores de N, sendo que os teores de P e Cu não foram afetados pelos tratamentos (Tabela 2). SALVADOR et al. (2003), trabalhando com doses de manganês em mudas de goiabeiras, verificaram, também, que os teores foliares de P não foram afetados com o aumento das doses aplicadas. Ocorreram interações significativas entre doses de manganês e épocas de coletas para os teores de nutrientes (Tabela 6). Desdobrando-se as interações para doses, dentro de cada época de coleta (30, 60, 90 e 120 dias), verifica-se, nas folhas, que os teores de K não diferiram significativamente nas coletas aos 30 e 90 dias, mas apresentaram ajuste quadrático na coleta aos 60 dias e aumento linear na coleta aos 120 dias. Os teores de Ca e Mg apresentaram ajuste quadrático em todas épocas de coleta, diminuindo a partir da dose de 0,5 mg de Mn L⁻¹, devido, provavelmente, à inibição competitiva pelo mesmo sítio de absorção com o Mn,

Tabela 2. Resumo das análises de variância e resultados médios dos teores de nutrientes e massa seca das folhas das mudas de caramboleiras, cultivadas em hidroponia, sob diferentes doses de manganês

Doses de Mn (D)	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	MS
mg L ⁻¹				g kg ⁻¹					mg kg ⁻¹			g planta ⁻¹
0	23	1,5	20	6,4	3,2	2,1	55	2	45	55	27	46
0,5	22	1,5	20	6,9	3,1	2,3	50	2	41	74	26	53
25	21	1,5	23	6,7	3,0	2,5	49	2	40	669	30	53
50	20	1,5	23	6,8	2,7	2,6	46	2	33	1.443	29	54
Teste F	7,07**	0,65 ^{NS}	8,39**	1,35 ^{NS}	6,35**	7,65**	22,36**	0,65 ^{NS}	26,34**	863,89**	2,86 ^{NS}	24,69**
Reg. Linear	18,74**											
Época Coleta (E)												
30 dias	24	1,7	26	8,7	3,8	2,7	39	3	59	553	42	31
60 dias	23	1,5	23	7,7	3,0	2,5	47	2	48	555	31	43
90 dias	20	1,4	19	5,5	2,8	2,4	54	1	28	529	22	59
120 dias	19	1,4	18	5,0	2,6	1,9	61	1	24	604	16	73
Teste F	54,15**	8,82**	41,29**	109,29**	38,66**	19,23**	140,65**	83,23**	279,46**	2,01 ^{NS}	170,32**	550,62**
Reg. Linear	139,56**	21,73**						196,26**				
D x E	0,79 ^{NS}	0,79 ^{NS}	2,82*	6,11**	5,38**	3,53**	13,70**	0,65 ^{NS}	5,53**	6,93**	6,10**	10,66**
Doses d. 30 dias			1,45 ^{NS}	6,54**	3,27*	0,77 ^{NS}	3,06*		25,55**	175,14**	4,48*	5,68**
Doses d. 60 dias			6,09**	4,87**	5,25**	2,83 ^{NS}	0,63 ^{NS}		13,77**	184,66**	11,39**	2,74 ^{NS}
Doses d. 90 dias			1,77 ^{NS}	5,26**	8,96**	5,25**	33,14**		2,40 ^{NS}	202,68**	3,22*	31,69**
Doses d. 120 dias			7,54**	2,99*	5,00**	9,39**	26,63**		1,22 ^{NS}	322,20**	2,08 ^{NS}	16,56**
C.V.%	5,3	12,9	8,8	8,9	9,8	10,7	5,5	22,1	8,9	13,8	11,1	5,3

Ns, *, **: não significativo ($p > 0,05$) e significativo a $p = 0,05$ e $p = 0,01$, respectivamente.

Tabela 3. Resumo das análises de variância e resultados médios dos teores de nutrientes e massa seca do caule das mudas de caramboleiras, cultivadas em hidroponia, sob diferentes doses de manganês

Doses de Mn (D)	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	MS
mg L ⁻¹	g kg ⁻¹											
0	9	2,2	7	11,2	3,1	1,2	11	2	39	47	63	53
0,5	9	2,0	7	10,8	3,1	1,1	10	2	38	52	58	54
25	8	2,1	7	10,7	2,9	1,1	9	2	35	182	58	56
50	8	2,1	7	10,2	2,8	1,1	8	2	32	406	61	58
Teste F	8,89**	2,11 ^{NS}	2,39 ^{NS}	2,93*	3,78*	0,93 ^{NS}	10,19**	1,30 ^{NS}	11,57**	828,11**	2,15 ^{NS}	5,94**
Reg. Linear				5,08*	10,56**		26,65**		33,28**			15,89** ¹
Época Coleta (E)												
30 dias	7	2,0	8	10,9	2,8	1,0	6	3	41	188	80	40
60 dias	8	2,0	7	10,9	2,9	1,1	8	3	40	172	65	48
90 dias	9	2,2	7	10,4	3,0	1,1	11	2	34	165	52	59
120 dias	9	2,2	6	10,8	3,2	1,2	14	1	28	163	43	73
Teste F	17,04**	3,66*	31,66**	0,77 ^{NS}	4,21*	1,75 ^{NS}	90,73**	14,11**	42,86**	3,77*	88,24**	335,12**
Reg. Linear		10,23**	92,79**		8,85**		111,27**	41,96**	120,19**		261,11**	990,49** ²
D x E	6,37**	0,67 ^{NS}	1,46 ^{NS}	0,44 ^{NS}	1,35 ^{NS}	0,81 ^{NS}	1,77 ^{NS}	0,91 ^{NS}	0,74 ^{NS}	6,72**	1,87 ^{NS}	1,84 ^{NS}
Doses d. 30 dias	2,68 ^{NS}									160,84**		
Doses d. 60 dias	5,16**									168,97**		
Doses d. 90 dias	5,99**									243,94**		
Doses d. 120 dias	14,19**									274,52**		
C.V.%	6,6	10,7	8,9	8,2	9,4	14,9	13,4	32,0	8,9	11,8	9,7	4,9

¹ y = 53,52 + 0,0915x R² = 0,97 ² y = 27,55 + 0,3679x R² = 0,99

Ns, *, **, não significativo (p>0,05) e significativo a p=0,05 e p=0,01, respectivamente.

Tabela 4. Resumo das análises de variância e resultados médios dos teores de nutrientes e massa seca das raízes das mudas de caramboleiras, cultivadas em hidroponia, sob diferentes doses de manganês

Doses de Mn (D)	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	MS
mg L ⁻¹	g kg ⁻¹											
0	11	3,1	7	4,8	3,1	2,0	11	5	286	25	30	64
0,5	12	2,9	7	4,7	2,8	1,8	8	5	259	67	31	64
25	11	2,9	6	4,9	2,7	1,6	8	6	238	1.235	34	65
50	11	2,6	6	4,7	2,5	1,5	7	7	224	1.471	34	68
Teste F	0,71 ^{NS}	6,77**	4,46*	0,76 ^{NS}	11,87**	9,19**	20,34**	5,77**	11,95**	491,56**	5,83**	4,13*
Reg. Linear					26,96**		40,73**	11,01**	28,76**		14,96**	
Época Coleta (E)												
30 dias	8	2,6	6	5,2	2,9	1,2	4	5	279	380	33	51
60 dias	11	2,6	6	4,8	2,7	1,4	5	6	266	615	34	64
90 dias	13	2,8	6	4,6	2,6	1,9	12	6	234	851	30	70
120 dias	14	3,4	8	4,6	2,8	2,4	12	7	227	951	32	75
Teste F	46,88**	18,74**	28,91**	8,22**	2,33 ^{NS}	62,23**	181,03**	3,75*	10,32**	55,36**	2,98 ^{NS}	135,98**
Reg. Linear	135,84**			7,87**			389,40**	8,58**	29,16**			
D x E	0,90 ^{NS}	3,94**	6,35**	0,98 ^{NS}	1,23 ^{NS}	3,18**	0,89 ^{NS}	1,45 ^{NS}	2,02 ^{NS}	21,66**	0,53 ^{NS}	3,08**
Doses d. 30 dias		2,71 ^{NS}	1,37 ^{NS}			1,58 ^{NS}				50,66**		1,32 ^{NS}
Doses d. 60 dias		5,20**	0,61 ^{NS}			0,88 ^{NS}				94,36**		4,79**
Doses d. 90 dias		2,19 ^{NS}	14,22**			12,23**				185,39**		4,40*
Doses d. 120 dias		8,49**	7,32**			4,04*				226,13**		2,88 ^{NS}
C.V.%	10,6	10,3	7,5	7,9	9,7	13,9	13,5	17,8	10,8	17,0	9,9	4,8

Ns, *, **, não significativo ($p > 0,05$) e significativo a $p = 0,05$ e $p = 0,01$, respectivamente.

Tabela 5. Equações de regressão dos teores de nutrientes nas folhas, caule e raízes das mudas de caramboleiras, cultivadas em hidroponia, em função de diferentes doses de manganês e épocas de coleta

Nutrientes	Doses de Mn (mg L ⁻¹)		Época Coleta	
	Equação	R ²	Equação	R ²
Folhas				
----- g kg ⁻¹ -----				
N	y = 22,17 - 0,0343x	0,88	y = 25,84 - 0,0576x	0,86
P	ns		y = 1,79 - 0,0039x	0,82
----- mg kg ⁻¹ -----				
Cu	ns		y = 3,50 + 0,0233x	0,89
Caule				
----- g kg ⁻¹ -----				
P	ns		y = 1,90 + 0,0027x	0,80
K	ns		y = 8,77 - 0,0253x	0,98
Ca	y = 11,02 - 0,0158x	0,84	ns	
Mg	y = 3,09 - 0,0064x	0,93	y = 2,65 + 0,0043x	0,97
----- mg kg ⁻¹ -----				
B	y = 10,46 - 0,0464x	0,87	y = 3,0 + 0,0900x	0,99
Cu	ns		y = 3,79 - 0,0203x	0,99
Fe	y = 38,44 - 0,1294x	0,96	y = 47,33 - 0,1511x	0,94
Zn	ns		y = 90,08 - 0,4033x	0,99
Raízes				
----- g kg ⁻¹ -----				
N	ns		y = 6,77 + 0,0601x	0,97
Ca	ns		y = 5,30 - 0,0067x	0,83
Mg	y = 2,94 - 0,0097x	0,76	ns	
----- mg kg ⁻¹ -----				
B	y = 9,42 - 0,0509x	0,67	y = 1,21 + 0,0967x	0,72
Cu	y = 4,99 + 0,0402x	0,99	y = 4,50 + 0,0200x	0,76
Fe	y = 270,75 - 1,0165x	0,80	y = 298,75 - 0,6292x	0,94
Zn	y = 30,70 + 0,0865x	0,86	ns	

ns: não significativo ($p > 0,05$).

Tabela 6. Desdobramentos das interações para doses, dentro de cada época de coleta, dos teores de nutrientes nas folhas, caule e raízes das mudas de caramboleiras, cultivadas em hidroponia, em função de diferentes doses de manganês

Nutrientes	Doses d. 30 dias		Doses d. 60 dias		Doses d. 90 dias		Doses d. 120 dias	
	Equação	R ²	Equação	R ²	Equação	R ²	Equação	R ²
Folhas								
g kg ⁻¹								
K	ns		y = 20,59 + 0,2930x - 0,0044x ²	0,76	ns		y = 16,01 + 0,1168x	0,87
Ca	y = 9,21 - 0,1355x + 0,0027x ²	0,90	y = 7,20 + 0,0971x - 0,0018x ²	0,66	y = 5,30 + 0,0912x - 0,0020x ²	0,64	y = 4,93 - 0,0662x + 0,0016x ²	0,98
Mg	y = 3,98 - 0,0302x + 0,0005x ²	0,53	y = 2,92 + 0,0463x - 0,0011x ²	0,79	y = 2,62 + 0,0534x - 0,0014x ²	0,99	y = 3,02 - 0,0434x + 0,0008x ²	0,52
S	ns		ns		y = 1,84 + 0,0448x - 0,0009x ²	0,78	y = 2,12 + 0,0164x	0,75
mg kg ⁻¹								
B	y = 37,39 + 0,4570x - 0,0088x ²	0,99	ns		y = 58,49 - 0,2424x	0,40	y = 67,69 - 0,3370x	0,94
Fe	y = 65,97 - 0,3471x	0,65	y = 53,45 - 0,2930x	0,86	ns		ns	
Mn	y = 88,63 + 24,5978x	0,99	y = 77,13 + 25,3351x	0,99	y = 26,64 + 26,6063x	0,99	y = -21,84 + 33,1568x	0,98
Zn	y = 39,92 + 0,1321x	0,69	y = 30,43 + 0,6438x - 0,0144x ²	0,57	y = 20,49 + 0,2208x - 0,0029x ²	0,46	ns	
Caule								
g kg ⁻¹								
N	ns		y = 9,23 - 0,0024x	0,70	y = 8,90 - 0,0151x	0,81	y = 9,05 - 0,0417x	0,68
mg kg ⁻¹								
Mn	y = 70,61 + 6,2149x	0,99	y = 44,82 + 6,3670x	0,99	y = 29,40 + 7,5283x	0,97	y = 14,67 + 7,8540x	0,94
Raízes								
g kg ⁻¹								
P	ns		y = 3,06 - 0,0130x	0,65	ns		y = 3,74 - 0,0199x	0,93
K	ns		ns		y = 6,85 - 0,1552x + 0,0026x ²	0,99	y = 7,87 + 0,0635x - 0,0018x ²	0,92
S	ns		ns		y = 2,16 - 0,0140x	0,48	y = 2,57 - 0,0093x	0,64
mg kg ⁻¹								
Mn	y = -1,66 + 20,2202x	0,97	y = 169,09 + 23,6420x	0,71	y = 157,41 + 36,7507x	0,88	y = 179,30 + 40,9070x	0,89

ns: não significativo ($p > 0,05$).

corroborando resultados de VELOSO et al. (1995) e SALVADOR et al. (2003) trabalhando com doses de manganês em pimenteira e em mudas de goiabeira respectivamente. Os teores de S não apresentaram diferenças nas coletas aos 30 e 60 dias, ajustando-se quadraticamente na coleta aos 90 dias e linearmente aos 120 dias. Para micronutrientes, os teores de B apresentaram ajuste quadrático na coleta aos 30 dias, não diferindo aos 60 dias e diminuindo linearmente nas coletas aos 90 e 120 dias. Os teores de Fe diminuíram linearmente nas coletas aos 30 e 60 dias, mas não diferiram nas coletas aos 90 e 120 dias. A alta concentração de Mn na solução nutritiva promoveu diminuição nos teores de Fe no início devido à competição pelo mesmo sítio de absorção. Os teores de zinco apresentaram aumento linear na coleta aos 30 dias, ajustando quadraticamente aos 60 e 90 dias, não diferindo aos 120 dias. A diminuição nos teores foliares de ferro e aumento nos teores de zinco corroboram resultados de SALVADOR et al. (2003), trabalhando com doses crescentes de manganês em mudas de goiabeira.

No caule, com o aumento das doses de manganês, houve diminuição linear nos teores de Ca, Mg, B e Fe (Tabela 3). Ca, Mg e Fe possuem valência e raio iônico semelhante ao Mn, competindo pelo mesmo sítio de absorção, sendo que na presença de altas concentrações de Mn no meio de cultivo, ocorre diminuição da absorção desses. Os teores de P, K, S, Cu e Zn não foram afetados. Desdobrando-se as interações para doses, dentro de cada época de coleta, verifica-se, no caule, que o teor de N não apresentou diferenças na coleta aos 30 dias, ocorrendo diminuição linear nas coletas aos 60, 90 e 120 dias (Tabela 6).

No sistema radicular, o aumento das doses de manganês promoveu diminuição linear nos teores de Mg, B e Fe e incremento nos teores de Cu e Zn (Tabela 4). Os teores de N e Ca não foram afetados. Desdobrando-se as interações para doses, dentro de cada época de coleta, verifica-se, no sistema radicular, que os teores de P não apresentaram diferenças nas coletas aos 30 e 90 dias, mostrando diminuição linear nos seus teores aos 60 e 120 dias (Tabela 6). Os teores de K ajustaram-se quadraticamente e, os de S apresentaram diminuição linear, nas coletas aos 90 e 120 dias, sendo que ambos não apresentaram diferenças aos 30 e 60 dias.

Com o decorrer do tempo de cultivo, houve diferenças significativas nos teores de nutrientes nas folhas, caule e raízes (Tabelas 2, 3 e 4). A cada época de coleta, houve diminuição linear nos teores foliares de N, P e Cu (Tabela 2). No caule, houve aumento linear nos teores de P, Mg e B e diminuição linear nos teores de K, Cu, Fe e Zn (Tabela 3). No sistema radicular, verificou-se aumento linear nos teores de N, B e Cu, e diminuição linear nos teores de Ca e Fe, sendo que os teores de Mg e Zn não foram afetados (Tabela 4). ROZANE (2008), trabalhando com mudas de caramboleira cultivadas em hidroponia, verificou aumento no teor de todos os nutrientes nas raízes em função do tempo, com exceção do Ca e Zn que não diferiram. A diminuição dos teores de nutrientes nas folhas, caule e raízes, em decorrência das épocas de coleta, se deve ao efeito de diluição, explicado pelo aumento da massa seca em todas as estruturas avaliadas (Tabelas 2, 3 e 4). Quando se considera o acúmulo desses nutrientes verifica-se, de modo geral, aumento linear em suas quantidades, exceto Cu nas folhas (Tabelas 7, 8 e 9).

Os teores de nutrientes encontrados nas folhas das caramboleiras estão, de maneira geral, dentro da faixa observada por BALERDI, citado por CRANE et al. (1998) e por SILVA et al. (1984), trabalhando com caramboleiras em condições de campo. FREITAS (2008) e ROZANE (2008), trabalhando com mudas de caramboleiras em solução nutritiva (FURLANI, 1999), encontraram teores de nutrientes superiores ao do presente experimento. As diferenças encontradas podem ser devido às diferenças nos cultivares, na idade das plantas, na amostragem do tecido e no tempo de cultivo.

Com o incremento das doses de manganês, os teores foliares de Mn foram substancialmente aumentados, assim como seu acúmulo, o que era esperado. Desdobrando-se as interações para doses, dentro de cada época de coleta, constata-se elevações lineares dos teores de manganês (Tabela 6) e de seu acúmulo (Tabela 11) em todas épocas de coleta e em todas as estruturas avaliadas. Na dose de 25 mg L⁻¹ de Mn, as folhas apresentaram teores cerca de 10 vezes maiores que na dose recomendada por FURLANI (1999) (0,5 mg L⁻¹ de Mn). Já nas raízes, esse valor foi cerca de 18 vezes maior. Na dose mais alta (50 mg L⁻¹ de Mn), os teores chegaram a ser aproximadamente 20 vezes superiores àqueles observados na dose recomendada,

tanto nas folhas como no caule e raízes. É importante ressaltar que os teores de Mn encontrados nas folhas, nas maiores doses, aproximaram-se e, até ultrapassaram, valores de macronutrientes, como o P e o S (Tabela 2). Observa-se, também, teores de manganês mais elevados no sistema radicular das mudas (Tabela 4), o que pode indicar algum mecanismo de defesa da planta ao excesso de Mn presente na solução nutritiva, não permitindo que a maior parte do elemento fosse transportada para a parte aérea. Isso pode ser confirmado pela eficiência de transporte do elemento, o qual apresentou diminuição, com o incremento das doses de manganês, conforme será discutido adiante.

Com relação ao acúmulo de nutrientes nas folhas, verifica-se que as quantidades acumuladas de Cu não foram afetadas com o incremento das doses de manganês (Tabela 7). Desdobrando-se as interações para doses, dentro de cada época de coleta, verifica-se ajuste quadrático para N nas coletas aos 30, 90 e 120 dias, não apresentando diferenças em seu acúmulo na coleta aos 60 dias (Tabela 11). Para P, não ocorreram diferenças nas coletas aos 30 e 60 dias, mas houve ajuste quadrático aos 90 dias e aumento linear em seu acúmulo aos 120 dias. O aumento nas quantidades de P pode ser atribuída a um efeito indireto da maior quantidade de Mn nos tecidos, formando complexos com o P dentro da planta, que diminuem a atividade de Mn, atenuando sua toxidez (MUKHOPADHYAY & SHARMA, 1991). Não houve diferenças para K e S na coleta aos 30 dias, apresentando ajuste quadrático aos 90 dias e aumento linear em seu acúmulo aos 60 e 120 dias. As quantidades acumuladas de Ca apresentaram ajuste quadrático nas coletas aos 30, 90 e 120 dias, e aumento linear aos 60 dias. Para Mg, não ocorreram diferenças em seu acúmulo nas coletas aos 60 e 120 dias, mas houve ajuste quadrático aos 30 e 90 dias, decrescendo a partir da dose recomendada ($0,5 \text{ mg Mn L}^{-1}$) devido à efeitos de inibição competitiva com o excesso de Mn presente na solução nutritiva. Para micronutrientes, as quantidades acumuladas de B não diferiram nas coletas aos 30, 60 e 90 dias, apresentando diminuição linear em seu acúmulo aos 120 dias. O acúmulo de Fe apresentou ajuste quadrático aos 30 e 90 dias, e diminuição linear aos 60 dias, não diferindo aos 120 dias.

Tabela 7. Resumo das análises de variância e resultados médios do acúmulo de nutrientes nas folhas das mudas de caramboleiras, cultivadas em hidroponia, sob diferentes doses de manganês

Doses de Mn (D)	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
mg L ⁻¹	mg planta ⁻¹				µg planta ⁻¹						
0	1.009	66	907	276	145	104	2.666	65	1.964	2.253	1.164
0,5	1.124	74	994	342	155	108	2.833	74	1.856	3.311	1.225
25	1.085	81	1.143	327	158	133	2.717	75	1.842	35.322	1.334
50	1.064	80	1.187	344	141	136	2.547	75	1.565	79.875	1.368
Teste F	8,74**	3,75*	15,99**	7,21**	1,99 ^{NS}	12,53**	3,54*	1,20 ^{NS}	8,04**	656,13**	3,79*
Época Coleta (E)											
30 dias	750	54	793	271	117	83	1.201	92	1.838	16.559	1.302
60 dias	968	64	977	330	127	108	2.007	65	2.046	24.967	1.346
90 dias	1.137	82	1.135	327	152	115	3.137	59	1.633	33.018	1.326
120 dias	1.426	101	1.328	362	203	178	4.420	73	1.709	46.219	1.118
Teste F	310,76**	34,53**	48,90**	9,94**	45,38**	75,53**	490,71**	12,04**	9,07**	78,45**	4,67**
Reg. Quadrática											
D x E	6,44**	3,08**	6,27**	7,21**	6,48**	7,23**	3,27**	1,19 ^{NS}	4,96**	44,69**	5,31**
Doses d. 30 dias	7,29**	1,11 ^{NS}	1,35 ^{NS}	5,17**	3,16*	1,15 ^{NS}	0,31 ^{NS}		12,37**	41,65**	2,36 ^{NS}
Doses d. 60 dias	0,99 ^{NS}	0,32 ^{NS}	6,15**	3,37*	2,12 ^{NS}	3,13*	1,36 ^{NS}		4,54**	96,31**	7,38**
Doses d. 90 dias	12,92**	6,90**	8,07**	14,06**	14,73**	10,30**	2,65 ^{NS}		4,54**	185,71**	7,61**
Doses d. 120 dias	6,84**	4,66**	19,24**	6,25**	1,44 ^{NS}	19,65**	9,01**		1,46 ^{NS}	466,53**	2,36 ^{NS}
C.V.%	5,2	16,3	10,7	12,8	13,2	13,2	8,1	19,8	11,5	16,4	13,2

Ns, *, **, não significativo ($p > 0,05$) e significativo a $p = 0,05$ e $p = 0,01$, respectivamente.

Tabela 8. Resumo das análises de variância e resultados médios do acúmulo de nutrientes no caule das mudas de caramboleiras, cultivadas em hidroponia, sob diferentes doses de manganês

Doses de Mn (D)	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
mg L ⁻¹											
----- mg planta ⁻¹ -----											
0	486	117	370	599	167	62	603	124	2.009	2.349	3.187
0,5	487	114	361	624	179	63	614	125	2.125	2.875	3.167
25	462	117	369	567	161	60	529	98	1.877	9.712	3.059
50	423	114	372	576	151	59	464	120	1.675	22.333	3.118
Teste F	8,27**	0,15 ^{NS}	0,19 ^{NS}	2,61 ^{NS}	4,90**	0,35 ^{NS}	10,64**	0,92 ^{NS}	11,91**	595,14**	0,31 ^{NS}
Reg. Linear					11,57**		31,65**		33,39**		
----- µg planta ⁻¹ -----											
Época Coleta (E)											
30 dias	306	82	318	437	117	41	308	130	1.664	7.389	3.195
60 dias	441	106	350	521	144	52	284	120	1.929	7.888	3.094
90 dias	506	131	395	617	190	67	822	112	2.028	10.230	3.071
120 dias	604	143	409	791	236	84	794	104	2.066	11.761	3.172
Teste F	144,19**	37,17**	12,13**	91,09**	58,14**	47,49**	188,26**	0,76 ^{NS}	10,45**	28,81**	0,34 ^{NS}
Reg. Linear		109,57**	35,19**	264,54**	169,23**	141,58**	427,77**		27,08**		
D x E	5,98**	0,94 ^{NS}	1,28 ^{NS}	1,34 ^{NS}	1,95 ^{NS}	0,55 ^{NS}	2,03 ^{NS}	0,53 ^{NS}	1,78 ^{NS}	25,39**	1,46 ^{NS}
Doses d. 30 dias	1,98 ^{NS}									54,02**	
Doses d. 60 dias	5,34**									88,79**	
Doses d. 90 dias	0,48 ^{NS}									201,98**	
Doses d. 120 dias	18,40**									326,51**	
C.V.%	7,8	13,4	11,3	9,3	11,3	15,5	13,5	38,4	10,1	14,2	11,4

Ns, *, **, não significativo ($p>0,05$) e significativo a $p=0,05$ e $p=0,01$, respectivamente.

Tabela 9. Resumo das análises de variância e resultados médios do acúmulo de nutrientes nas raízes das mudas de caramboleiras, cultivadas em hidroponia, sob diferentes doses de manganês

Doses de Mn (D)	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
mg L ⁻¹	mg planta ⁻¹				µg planta ⁻¹						
0	722	202	446	304	198	116	703	326	18.003	1.624	1.925
0,5	753	187	437	300	178	131	559	343	16.371	4.411	1.950
25	755	184	419	318	174	108	531	428	15.254	84.689	2.195
50	772	172	419	318	165	106	500	429	14.988	103.077	2.315
Teste F	0,74 ^{NS}	4,68 ^{**}	2,81 ^{NS}	1,54 ^{NS}	8,96 ^{**}	6,10 ^{**}	12,07 ^{**}	8,92 ^{**}	5,57 ^{**}	585,07 ^{**}	12,08 ^{**}
Reg. Linear					17,37 ^{**}		19,69 ^{**}	21,57 ^{**}	11,37 ^{**}		34,99 ^{**}
Época Coleta (E)											
30 dias	417	132	318	245	147	61	276	274	14.300	18.878	1.690
60 dias	690	179	410	333	171	88	246	352	16.860	41.093	2.188
90 dias	869	180	415	319	183	131	842	396	16.317	61.702	2.098
120 dias	1.026	254	578	344	213	181	929	503	17.138	72.129	2.409
Teste F	114,17 ^{**}	81,81 ^{**}	190,79 ^{**}	33,37 ^{**}	34,04 ^{**}	124,33 ^{**}	195,59 ^{**}	27,48 ^{**}	4,88 ^{**}	115,56 ^{**}	30,23 ^{**}
Reg. Linear	336,47 ^{**}				99,72 ^{**}		485,99 ^{**}	80,37 ^{**}	9,43 ^{**}		71,39 ^{**}
D x E	0,72 ^{NS}	3,89 ^{**}	7,18 ^{**}	2,38 [*]	2,06 ^{NS}	2,33 [*]	0,93 ^{NS}	1,85 ^{NS}	1,32 ^{NS}	39,00 ^{**}	1,97 ^{NS}
Doses d. 30 dias		0,71 ^{NS}	0,74 ^{NS}	0,51 ^{NS}		1,04 ^{NS}				30,54 ^{**}	
Doses d. 60 dias		2,37 ^{NS}	0,73 ^{NS}	3,48 [*]		0,39 ^{NS}				104,12 ^{**}	
Doses d. 90 dias		2,20 ^{NS}	16,09 ^{**}	4,13 [*]		7,45 ^{**}				242,31 ^{**}	
Doses d. 120 dias		11,09 ^{**}	6,79 ^{**}	0,58 ^{NS}		4,21 [*]				325,10 ^{**}	
C.V.%	11,3	10,4	6,3	8,7	9,1	14,2	15,6	16,5	12,5	15,7	9,0

NS, *, **, não significativo ($p > 0,05$) e significativo a $p = 0,05$ e $p = 0,01$, respectivamente.

Tabela 10. Equações de regressão do acúmulo de nutrientes nas folhas, caule e raízes das mudas de caramboleiras, cultivadas em hidroponia, em função de diferentes doses de manganês e épocas de coleta

Nutrientes	Doses de Mn (mg L ⁻¹)		Época Coleta	
	Equação	R ²	Equação	R ²
Folhas				
----- $\mu\text{g kg}^{-1}$ -----				
Cu	ns		$y = 138,76 - 1,90x + 0,0113x^2$	0,99
Caule				
----- mg kg^{-1} -----				
P	ns		$y = 63,15 + 0,6984x$	0,98
K	ns		$y = 288,67 + 1,0589x$	0,97
Ca	ns		$y = 301,77 + 3,8626x$	0,97
Mg	$y = 172,48 - 0,4426x$	0,79	$y = 86,08 + 1,0406x$	0,97
S	ns		$y = 24,61 + 0,4837x$	0,99
----- $\mu\text{g kg}^{-1}$ -----				
B	$y = 607,81 - 2,9446x$	0,99	$y = 53,19 + 6,6538x$	0,76
Fe	$y = 2.069,56 - 7,8421x$	0,94	$y = 1.595,97 + 4,3410x$	0,86
Raízes				
----- mg kg^{-1} -----				
N	ns		$y = 249,44 + 6,6801x$	0,98
Mg	$y = 187,47 - 0,4754x$	0,65	$y = 125,97 + 0,7003x$	0,98
----- $\mu\text{g kg}^{-1}$ -----				
B	$y = 625,99 - 2,7862x$	0,54	$y = -64,66 + 8,5076x$	0,83
Cu	$y = 342,74 + 2,0456x$	0,81	$y = 199,33 + 2,4270x$	0,98
Fe	$y = 17.049,69 - 47,4590x$	0,70	$y = 14.161,11 + 26,5705x$	0,65
Zn	$y = 1.947,93 + 7,8475x$	0,96	$y = 1.579,27 + 6,8905x$	0,79

ns: não significativo ($p > 0,05$).

Tabela 11. Desdobramentos das interações para doses, dentro de cada época de coleta, do acúmulo de nutrientes nas folhas, caule e raízes das mudas de caramboleiras, cultivadas em hidroponia, em função de diferentes doses de manganês

Nutrientes	Doses d. 30 dias			Doses d. 60 dias			Doses d. 90 dias			Dose d. 120 dias		
	Equação	R ²		Equação	R ²		Equação	R ²		Equação	R ²	
Folhas												
mg kg ⁻¹												
N	y = 818,21 – 12,884x + 0,224x ²	0,95		ns			y = 1.086,41 + 13,739x - 0,267x ²	0,53		y = 1.395,04 + 8,329x - 0,162x ²	0,63	
P	ns			ns			y = 72,07 + 2,601x - 0,049x ²	0,74		y = 89,80 + 0,584x	0,83	
K	ns			y = 868,83 + 5,709x			0,71 y = 1.021,11 + 28,319x - 0,539x ²	0,89		y = 1.101,47 + 11,979x	0,99	
Ca	y = 305,31 – 8,805x + 0,169x ²	0,99		y = 305,79 + 1,259x			0,64 y = 291,68 + 10,779x - 0,216x ²	0,56		y = 337,99 – 2,696x + 0,095x ²	0,80	
Mg	y = 131,81 – 3,084x + 0,055x ²	0,95		ns			y = 142,21 + 5,983x - 0,132x ²	0,88		ns		
S	ns			y = 95,96 + 0,614x			0,81 y = 98,63 + 4,769x - 0,094x ²	0,99		y = 144,77 + 1,689x	0,98	
µg kg ⁻¹												
B	ns			ns			ns			y = 4.685,40 – 14,072x	0,78	
Fe	y = 2.191,35 – 46,147x + 0,663x ²	0,88		y = 2.204,54 – 8,384x			0,61 y = 1.575,05 + 33,841x - 0,743x ²	0,82		ns		
Mn	y = 2.299,66 + 755,46x	0,96		y = 2.800,72 + 1.174,373x			0,99 y = 2.235,89 + 1.630,825x	0,99		y = -1.991,99 + 2.554,229x	0,98	
Zn	ns			y = 1.261,58 + 28,691x - 0,585x ²			0,54 y = 1.091,58 + 35,684x - 0,563x ²	0,99		ns		
Caule												
mg kg ⁻¹												
N	ns			y = 444,40 - 0,163x			ns			y = 666,78 – 3,332x	0,79	
µg kg ⁻¹												
Mn	y = 2.945,08 + 235,454x	0,99		y = 2.191,19 + 301,823x			0,99 y = 1.761,91 + 448,653x	0,97		y = 1.176,46 + 560,776x	0,94	
Raízes												
mg kg ⁻¹												
P	ns			ns			ns			y = 287,02 – 4,253x + 0,060x ²	0,99	
K	ns			ns			y = 461,10 – 9,725x + 0,176x ²	0,97		y = 589,99 + 2,292x - 0,071x ²	0,72	
Ca	ns			y = 311,05 + 1,182x			0,94 y = 296,45 + 4,874x - 0,089x ²	0,94		ns		
S	ns			ns			y = 143,99 - 0,702x	0,81		y = 195,91 – 2,325x + 0,037x ²	0,77	
µg kg ⁻¹												
Mn	y = -20,85 + 1.001,242x	0,97		y = 1.0862,97 + 1.601,566x			0,73 y = 1.0613,68 + 2.706,638x	0,89		y = 1.1800,85 + 3.196,174x	0,93	

ns: não significativo (p>0,05).

Para Zn, não ocorreram diferenças em seu acúmulo aos 30 e 120 dias, ajustando-se quadraticamente aos 60 e 90 dias.

Quando se observa o acúmulo de nutrientes no caule verifica-se, pela Tabela 8, que não há diferenças significativas para os valores de P, K, Ca, S, Cu e Zn, indicando a ocorrência de efeitos de diluição nos teores de Ca, quando não se considera o aumento ocorrido na massa seca do caule (Tabela 3). Observa-se, também, diminuição linear nas quantidades acumuladas de Mg, B e Fe no caule. Desdobrando-se as interações para doses, dentro de cada época de coleta, verifica-se que as quantidades acumuladas de N no caule não apresentaram diferenças nas coletas aos 30 e 90 dias, ocorrendo diminuição linear aos 60 e 120 dias (Tabela 11).

Analisando os nutrientes acumulados no sistema radicular, verifica-se que não houve diferenças nas quantidades de N (Tabela 9), mas houve aumento linear nos valores acumulados de Cu e Zn e diminuição linear nos de Mg, B e Fe. No sistema radicular, desdobrando-se as interações para doses, dentro de cada época de coleta, verifica-se que as quantidades acumuladas de P não diferiram aos 30, 60 e 90 dias, apresentando ajuste quadrático aos 120 dias (Tabela 11). Para K, seu acúmulo não apresentou diferenças aos 30 e 60 dias, mas ocorreu ajuste quadrático aos 90 e 120 dias. O acúmulo de Ca não diferiu aos 30 e 120 dias, mas aumentou linearmente aos 60 dias, ajustando-se quadraticamente aos 90 dias. As quantidades acumuladas de S não diferiram aos 30 e 60 dias, apresentando diminuição linear aos 90 dias e ajuste quadrático aos 120 dias.

A diminuição do magnésio acumulado nas raízes e caule, com o incremento das doses de manganês, se deve ao fato deste elemento possuir valência e raio iônico semelhantes ao Mn, podendo ocorrer competição pelos mesmos sítios de absorção (MASS et al., 1969). O aumento na concentração de manganês na solução hidropônica conduziu a decréscimos nos teores de Fe e em seu acúmulo em todas estruturas avaliadas. Sintomas foliares de toxidez de manganês foram constatados nas folhas mais novas das caramboleiras, induzindo a deficiência de Fe. O mesmo foi relatado por SALVADOR et al. (1998, 2003), trabalhando com doses de manganês em goiabeira. Esses dois nutrientes interagem em razão de uma inibição competitiva, na qual dois

cátions bivalentes competem pelos mesmos sítios de absorção (FOY et al., 1978; MALAVOLTA et al., 1997), sendo a relação Fe/Mn muito utilizada como indicadora da toxidez de Mn em plantas (FOY, 1984). O Mn também é capaz de trocar com o Fe existente nos quelados, fazendo com que diminua sensivelmente a absorção de Fe pelas plantas (LUCENA et al., 1988).

No presente estudo, com o aumento das doses de manganês, ocorreu decréscimo na relação Fe/Mn nas folhas ($y = 0,6362 - 0,0144x$ $R^2 = 0,79^{**}$), sendo que, para a dose padrão ($0,5 \text{ mg L}^{-1}$ de Mn – FURLANI, 1999), a relação Fe/Mn foi de 0,55. Abaixo dessa relação, constatou-se excesso de Mn nas folhas. Em decorrência, verificou-se aumento na relação Mn/Fe nas folhas ($y = 0,2473 + 0,8277x$ $R^2 = 0,98^{**}$) a qual atingiu valores de 44 com a aplicação da dose mais elevada de manganês (50 mg L^{-1} de Mn), produzindo sintomas de toxidez de Mn e deficiência de Fe. VELOSO et al. (1995), trabalhando com doses de manganês em pimenteira, verificaram que a relação Mn/Fe nos tecidos aumentou e que uma relação Mn/Fe de 22 foi associada a sintomas severos de toxidez nas folhas das pimenteiras. SALVADOR et al. (2003) afirmam que, quando a relação Mn/Fe for igual a 100, podem ocorrer sintomas de deficiência de ferro e reduções nas concentrações de foliares de cálcio e magnésio.

Os maiores valores de acúmulos de nutrientes nas folhas, caule e raízes foram registrados no final do período experimental (Tabelas 7, 8 e 9). As quantidades acumuladas foram superiores às obtidas por FREITAS (2008) e ROZANE (2008), cultivando mudas de caramboleiras em condições de hidroponia. Tais diferenças podem ser atribuídas às diferenças nas cultivares, no tempo de condução de estudo e na idade das mudas, já que as condições de cultivo e as concentrações de nutrientes (com exceção do Mn) na solução nutritiva foram semelhantes. MARSCHNER (1995) relata que os parâmetros cinéticos de absorção de nutrientes sofrem influência genética, estando relacionados às características morfológicas e fisiológicas da planta (GERLOFF & GABELMAN, 1983).

O acúmulo de nutrientes pelas mudas corresponde à sua necessidade total, sendo que, no presente experimento, observou-se maiores quantidades acumuladas nas folhas (Tabela 7), exceto para P, Cu, Fe, Mn e Zn que foram mais elevados nas raízes

(Tabela 9). Resultados semelhantes foram relatados por SALVADOR et al. (1999) e FRANCO et al. (2007, 2008). Em frutíferas adultas de citrus, os nutrientes são mais acumulados nos frutos e raízes, em detrimento das folhas e do caule (MATTOS JR et al., 2003).

Nas plantas mantidas na ausência de manganês constatou-se ataque de praga, como o ácaro branco e, de doença, no caso, antracnose. Esse fato não foi observado nas mudas dos tratamentos que receberam manganês via solução nutritiva, independentemente da dose. Isso pode ser devido ao papel do Mn no metabolismo vegetal, que atua como importante co-fator de várias enzimas-chave na biossíntese de metabólitos secundários da planta, associados à via do ácido shiquímico, incluindo aminoácidos aromáticos fenólicos, ligninas e flavonóides (BURNELL, 1988). Concentrações mais baixas de compostos, a partir desses aminoácidos, foram detectadas em tecidos deficientes em Mn de diversos vegetais, o que pode ser a causa da maior suscetibilidade a doenças, por plantas carentes nesse nutriente (GRAHAM, 1983; MALAVOLTA, 2006). Outro fator a ser considerado é a participação do manganês na síntese da lignina, constituindo barreira física à entrada de patógenos (MALAVOLTA et al., 1997). Plantas capazes de mobilizar grandes quantidades de manganês, possivelmente tóxicas para organismos patogénicos, podem afetar a patogenicidade de pragas e doenças (GRAHAM & WEEB, 1991). É importante salientar que houve controle químico, a partir do momento da detecção do ataque, cerca de 30 dias após o início do estudo.

Em condições de deficiência, as anormalidades observadas nas caramboleiras traduziram-se por clorose internerval nas folhas mais novas, palidez e início de formação reticulada grossa das nervuras. Os sintomas de toxidez foram visualizados no tratamento de 50 mg L⁻¹ de Mn, com salpicos adensados de minúsculas pontuações escuras por todo o limbo das folhas mais velhas. Nas folhas mais novas, ocorreu clorose internerval, com reticulado fino das nervuras, apresentando menor espessura laminar. As manchas escuras nas folhas mais velhas podem ser causadas pelo aumento na atividade da polifenol-oxidase e, conseqüentemente, maior formação dos fenóis ou dano na síntese de lignina, ou pela deposição de óxidos de manganês

(MALAVOLTA & SANTOS, 1996). As alterações morfológicas visualizadas neste estudo, em função da deficiência ou toxidez de Mn, corroboram relatos da literatura para diversos vegetais (MARSCHNER, 1995; VELOSO et al., 1995; MALAVOLTA et al. 1997; SALVADOR et al., 1998, 2003, EPSTEIN & BLOOM, 2006, DECHEN & NACHTIGALL, 2006b).

Houve aumento linear na produção de massa seca do caule com o aumento das doses de manganês e, também, em função da época de coleta (Tabela 3). Desdobrando-se as interações para doses, dentro de cada época de coleta que ocorreram para massa seca, observou-se ajuste quadrático de massa seca das folhas nas coletas aos 30 e 90 dias, não diferindo aos 60 dias, mas com aumento linear aos 120 dias (Tabela 13). No sistema radicular, não houve diferenças na massa seca aos 30 e 120 dias, a qual apresentou aumento linear nas coletas aos 60 e 90 dias.

A menor produção de massa seca na testemunha, de modo geral, pode ser atribuída à diminuição na taxa de fotossíntese, que está diretamente relacionada ao teor de manganês na planta (LINDSAY & ROSS, 1988; MALAVOLTA et al., 1997). Desse modo, em condições de carência de Mn, a produção pode ser significativamente afetada. A deficiência de manganês prejudica a estrutura dos cloroplastos, afetando a fotossíntese, o que diminui o nível de carboidratos solúveis na planta. Como algumas etapas da fotossíntese são seriamente afetadas em condições de deficiência de Mn, outras reações associadas ao transporte de elétrons também o são, como a fotofosforilação, a redução de CO₂, de nitrito e de sulfito (KIRKBY & RÖMHELD, 2007). Com o aumento das doses de manganês, era possível que ocorresse decréscimo na produção de massa seca da planta, devido ao seu efeito tóxico em quantidades excessivas. Porém, mesmo com a diminuição do acúmulo de muitos nutrientes em função do incremento das doses de Mn, a frutífera apresentou aumentos de massa seca (Tabelas 2, 3 e 4), evidenciando sua tolerância ao elemento. Isso se deve, provavelmente, à rusticidade da planta, cujo centro de origem é tropical, Malásia ou Indonésia (DONADIO et al., 2001), onde os solos apresentam características de acidez e elevadas concentrações de Mn. Nesse ambiente, com a evolução, a planta deve ter desenvolvido mecanismos de tolerância ao excesso de manganês.

Verificaram-se diferenças significativas em todos os parâmetros biológicos avaliados, em função da aplicação das doses de Mn, com ajuste quadrático, corroborando resultados de VELOSO et al. (1995) para crescimento de plantas trabalhando com doses de Mn em pimenteiras; e das épocas de coleta, com ajuste linear (Tabela 12). A dose padrão de Mn, $0,5 \text{ mg L}^{-1}$ de Mn, (FURLANI, 1999) foi a que proporcionou as maiores médias de altura, diâmetro do porta-enxerto e do enxerto. SALVADOR et al. (2003), trabalhando com doses de manganês em mudas de goiabeira conduzidas em solução nutritiva de HOAGLAND & ARNON (1950), relataram que a concentração de $0,5 \text{ mg L}^{-1}$ de Mn demonstrou ser a melhor dose para o estudo de goiabeira em solução nutritiva. Com relação às épocas de coleta, verificou-se aumento linear da altura, do diâmetro do porta-enxerto e do enxerto, em decorrência do crescimento natural das mudas de caramboleiras, corroborando resultados relatados por FREITAS (2008) e ROZANE (2008) que trabalharam com mudas dessa frutífera cultivadas em hidroponia. Desdobrando-se as interações para doses, dentro de cada época de coleta, verificou-se que não ocorreram diferenças na área foliar nas coletas aos 30 e 60 dias, apresentando ajuste quadrático aos 90 e 120 dias (Tabela 13).

O incremento nos parâmetros biológicos pode ser explicado pelo crescente acúmulo da massa seca das folhas, caule e raízes (Tabelas 2, 3 e 4), pois houve correlação positiva da massa seca total produzida pelas mudas de caramboleira, em decorrência da época de coleta, com a altura ($r = 0,99^{**}$), o diâmetro do porta-enxerto ($r = 0,99^{**}$), o diâmetro do enxerto ($r = 0,98^{**}$) e a área foliar ($r = 0,99^{**}$). Isso pode ser explicado pelo rápido crescimento apresentado por plantas jovens dessa frutífera que, de acordo com OLIVEIRA (1996), pode ser devido à sua grande capacidade de incorporação de CO_2 .

Tabela 12. Resumo das análises de variância e resultados médios dos parâmetros biológicos das mudas de caramboleiras, cultivadas em hidroponia, sob diferentes doses de manganês

Doses de Mn (D)	Altura	Diâmetro Porta-Enxerto	Diâmetro Enxerto	Área Foliar
mg L ⁻¹	cm	-----mm-----		cm ²
0	126	9,6	6,1	2.462
0,5	135	10,3	6,4	3.001
25	130	9,6	6,1	2.719
50	126	9,5	6,0	2.561
Teste F	4,41*	7,31**	4,23*	12,40**
Reg. Quadrática	9,78* ¹	7,33* ²	6,49* ³	
Época Coleta (E)				
30 dias	115	8,5	5,0	1.519
60 dias	124	9,4	5,5	2.176
90 dias	135	10,3	6,3	3.150
120 dias	143	10,9	7,7	3.899
Teste F	42,51**	58,53**	153,08**	246,86**
Reg. Linear	127,25** ⁴	174,85** ⁵	432,10** ⁶	
D x E	1,68 ^{NS}	0,90 ^{NS}	0,43 ^{NS}	4,54**
Doses d. 30 dias				2,82 ^{NS}
Doses d. 60 dias				0,57 ^{NS}
Doses d. 90 dias				14,67**
Doses d. 120 dias				7,98**
C.V.%	5,1	4,9	5,4	8,6

$$^1 y = 1,30 + 0,0011x - 0,00003x^2$$

$$R^2 = 0,62$$

$$^4 y = 1,05 + 0,0032x$$

$$R^2 = 0,99$$

$$^2 y = 9,95 - 0,0154x + 0,00013x^2$$

$$R^2 = 0,43$$

$$^5 y = 7,74 + 0,02700x$$

$$R^2 = 0,99$$

$$^3 y = 6,23 - 0,0068x + 0,00002x^2$$

$$R^2 = 0,51$$

$$^6 y = 3,92 + 0,02928x$$

$$R^2 = 0,94$$

Ns, *, **: não significativo ($p > 0,05$) e significativo a $p = 0,05$ e $p = 0,01$, respectivamente.

Tabela 13. Desdobramentos das interações para doses, dentro de cada época de coleta, para massa seca das folhas e raízes, e para área foliar das mudas de caramboleiras, cultivadas em hidroponia, sob diferentes doses de manganês

Parâmetros	Doses d. 30 dias		Doses d. 60 dias		Doses d. 90 dias		Doses d. 120 dias	
	Equação	R ²	Equação	R ²	Equação	R ²	Equação	R ²
Folhas								
----- g planta ⁻¹ -----								
MS	y = 33,27 - 0,5909x + 0,0111x ²	0,97	ns		y = 54,22 + 0,9508x - 0,0166x ²	0,51	y = 69,27 + 0,1791x	0,45
Raízes								
----- cm ² -----								
MS	ns		y = 61,02 + 0,1509x	0,84	y = 67,36 + 0,1383x	0,77	ns	
Área Foliar	ns		ns		y = 3.223,43 + 3,1218x - 0,1700x ²	0,65	y = 3.738,98 + 23,4247x - 0,3614x ²	0,62

ns: não significativo (p>0,05).

Houve diferenças significativas na eficiência de absorção, transporte e utilização de Mn, em função das doses de manganês aplicadas. Ocorreu aumento linear na eficiência de absorção, com o aumento das doses ($y = 1.984,15 + 558,22x$ $R^2 = 0,98^{**}$). Verificou-se diminuição linear na eficiência de transporte ($y = 121,99 - 0,85x$ $R^2 = 0,45^{**}$) e, também, na eficiência de utilização ($y = 300,71 - 6,77x$ $R^2 = 0,78^{**}$) com o incremento das doses de manganês na solução nutritiva. A diminuição na eficiência de transporte e, também, de utilização de manganês pela caramboleira pode estar associada a um mecanismo de defesa da planta ao excesso de Mn presente na solução. Isso pode ser confirmado pelo maior acúmulo de manganês nas raízes (Tabela 9), quando comparado às folhas e caule (Tabelas 7 e 8 respectivamente). Os mecanismos de tolerância ao excesso de Mn têm sido associados à oxidação deste nutriente nas raízes, à restrição na taxa de absorção pelas raízes e diminuição no transporte do excesso de Mn para as folhas, bem como à interação com outros nutrientes (FOY et al., 1988; MORONI et al., 2003). Além disso, pode ser possível que, a exemplo do que acontece com outros metais pesados, haja desintoxicação celular do excesso de manganês por agentes complexantes no sistema radicular (fitoquelatinas, metalotioneínas e nicotianamina), com posterior deposição do Mn no apoplasto, reduzindo o seu transporte a longa distância e, por fim, estocagem no interior dos vacúolos (YAN et al., 2000; BIDWELL et al., 2002; DUCIC & POLLE, 2005).

4.2. Fracionamento do manganês nos órgãos da caramboleira

Os teores de manganês determinados nas folhas, caule e raízes das mudas de caramboleira, a partir de seu fracionamento com o uso de diferentes extratores, estão apresentados na Tabela 14. Na Tabela 15 encontram-se os desdobramentos das interações triplas para doses, dentro de extrator e cada época de coleta. Ocorreram diferenças significativas e interações entre os extratores utilizados, assim como entre as doses de Mn aplicadas, bem como no decorrer das épocas de coleta.

Os teores de manganês obtidos na soma dos fracionamentos (água + DTPA + HCl 1N + residual) equivalem aos teores encontrados de manganês total, tanto nas folhas, como no caule e raízes (Tabela 2, 3 e 4, respectivamente). As médias dos teores de Mn total, considerando folhas, caule e raízes e todas épocas de coleta foram 162, 198, 2.095 e 3.370 mg de Mn kg⁻¹ para as doses 0; 0,5; 25 e 50 mg Mn L⁻¹, respectivamente, valores muito próximos das médias encontradas quando do fracionamento do manganês, considerando a soma do Mn obtido nas leituras das diferentes extrações, as estruturas da planta e todas épocas de coleta, os quais foram: 175, 208, 2.127 e 3.419 mg de Mn kg⁻¹ para as doses 0; 0,5; 25 e 50 mg Mn L⁻¹, respectivamente. Verificam-se aumentos lineares nos teores de manganês nas folhas, no caule e nas raízes com o aumento das doses de manganês aplicadas, assim como no decorrer das épocas (Tabela 14).

Tabela 14. Resumo das análises de variância e resultados médios da extração de manganês fracionado nas folhas, caule e raízes de mudas de caramboleira, cultivadas em hidroponia, em função de diferentes doses de manganês

Extrator (A)	Mn Folhas		Mn Caule		Mn Raízes	
	----- mg kg ⁻¹ -----					
Água	43 d	(6,95%)	5 d	(2,53%)	16 d	(2,35%)
DTPA	65 c	(10,50%)	25 c	(12,63%)	45 c	(6,63%)
HCl 1N	139 b	(22,45%)	38 b	(19,19%)	142 b	(20,92%)
Residual	372 a	(60,10%)	130 a	(65,65%)	476 a	(70,10%)
DMS (5%)	17,19		4,46		11,90	
Teste F	1039,29**		2073,07**		4273,79**	
Doses de Mn (D)						
0 mg L ⁻¹	18		15		11	
0,5 mg L ⁻¹	19		14		22	
25 mg L ⁻¹	198		62		282	
50 mg L ⁻¹	385		106		364	
Teste F	1407,13**		1329,67**		3097,59**	
Reg. Linear	4220,93**		3985,45**		8699,19**	
Época Coleta (E)						
30 dias	136		44		90	
60 dias	143		49		180	
90 dias	165		52		198	
120 dias	175		53		211	
Teste F	14,91**		12,53**		286,04**	
Reg. Linear	42,97**		15,33**		696,44**	
A x D	335,10**		427,07**		1209,11**	
Doses d. Água	29,17**		3,34*		7,64**	
Doses d. DTPA	54,71**		63,85**		44,62**	
Doses d. HCl 1N	294,75**		232,45**		569,96**	
Doses d. Residual	2033,81**		2311,24**		6102,70**	
A x E	4,33**		6,43**		162,96**	
Extratores d. 30 dias	221,53**		451,04**		202,11**	
Extratores d. 60 dias	205,04**		412,57**		1254,54**	
Extratores d. 90 dias	292,76**		583,17**		1547,60**	
Extratores d. 120 dias	332,93**		645,58**		1758,40**	
D x E	15,26**		10,12**		106,92**	
Doses d. 30 dias	209,24**		234,17**		327,36**	
Doses d. 60 dias	284,00**		269,87**		866,04**	
Doses d. 90 dias	436,57**		378,76**		1058,34**	
Doses d. 120 dias	523,10**		477,22**		1166,61**	
A x D x E	4,02**		4,40**		56,56**	
C.V.%	20,9		17,0		13,2	

*, **: significativo a $p=0,05$ e $p=0,01$, respectivamente. Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si a $p=0,05$, pelo teste de Tukey.

Tabela 15. Desdobramento das interações para doses, dentro de extrator e cada época de coleta, para extração de manganês fracionado nas folhas, caule e raízes de mudas de caramboleira, cultivadas em hidroponia, em função de diferentes doses de manganês

D x A x E	Mn Folhas		Mn Caule		Mn Raízes	
	Equação	R ²	Equação	R ²	Equação	R ²
-----mg kg ⁻¹ -----						
Doses d. Água						
• 30 dias	y = 9,74 + 0,92x	0,93	y = 2,71 + 0,11x	0,88	y = 0,70 + 0,29x	0,94
• 60 dias	y = 2,68 + 0,90x	0,97	y = 1,73 + 0,08x	0,91	y = 1,67 + 0,46x	0,99
• 90 dias	y = 1,13 + 1,12x	0,99	y = 1,72 + 0,09x	0,91	y = 1,21 + 0,39x	0,99
• 120 dias	y = 0,53 + 1,27x	0,99	y = 0,97 + 0,09x	0,89	y = 2,39 + 0,35x	0,95
Doses d. DTPA						
• 30 dias	y = 17,18 + 1,01x	0,98	y = 15,39 + 0,37x	0,86	y = 7,34 + 0,74x	0,97
• 60 dias	y = 11,61 + 1,41x	0,98	y = 9,85 + 0,29x	0,95	y = 13,88 + 0,88x	0,86
• 90 dias	y = 8,35 + 1,60x	0,98	y = 5,61 + 0,51x	0,86	y = 11,73 + 0,96x	0,91
• 120 dias	y = 5,03 + 1,77x	0,98	y = 5,67 + 0,46x	0,96	y = 12,36 + 0,94x	0,91
Doses d. HCl 1N						
• 30 dias	y = 25,27 + 2,08x	0,98	y = 14,28 + 0,55x	0,94	y = 1,31 + 2,50x	0,95
• 60 dias	y = 10,43 + 3,37x	0,97	y = 7,44 + 0,68x	0,97	y = 20,42 + 0,37x	0,86
• 90 dias	y = 5,76 + 3,92x	0,99	y = 7,80 + 0,88x	0,93	y = 25,57 + 3,52x	0,92
• 120 dias	y = 5,51 + 4,08x	0,97	y = 5,63 + 0,97x	0,97	y = 37,37 + 3,71x	0,85
Doses d. Residual						
• 30 dias	y = 64,78 + 7,32x	0,98	y = 45,62 + 2,07x	0,97	y = 6,95 + 5,94x	0,88
• 60 dias	y = 49,60 + 7,52x	0,98	y = 28,5 + 2,29x	0,98	y = 115,49 + 10,58x	0,84
• 90 dias	y = 26,46 + 9,74x	0,98	y = 43,39 + 2,48x	0,98	y = 118,11 + 11,92x	0,88
• 120 dias	y = 12,24 + 10,80x	0,98	y = 32,23 + 2,92x	0,98	y = 135,67 + 12,41x	0,88

ns: não significativo ($p > 0,05$).

A porcentagem de Mn extraída com água apresentou os menores valores, quando comparada aos outros extratores, indicando que pouco Mn está totalmente livre nos tecidos da planta. Essa fração do manganês solúvel pode estar livre no vacúolo, ou participando como ativador enzimático de diversos processos metabólicos no citoplasma, ou então, fazendo parte de compostos solúveis, como alguns aminoácidos (GRAHAM et al., 1988; MALAVOLTA et al., 1997; MALAVOLTA, 2006; SHARMA, 2006).

A utilização da solução DTPA teve por objetivo extrair o manganês “trocável” dos tecidos, ou seja, o manganês ligado de uma forma fraca a compostos não-solúveis, não estando totalmente livre. Assim, o extrator DTPA deslocou o Mn desses compostos para a solução. Verifica-se que os teores de manganês obtidos com essa extração foram mais elevados que aqueles extraídos por água, indicando que boa parte desse manganês estaria fazendo parte de vários compostos (GRAHAM et al., 1988; MALAVOLTA, 2006; SHARMA, 2006).

A extração com HCl 1N apresentou maiores teores de manganês, quando comparada às outras duas extrações (água e DTPA). Acredita-se que essa extração tenha removido o manganês ligado mais fortemente a compostos insolúveis (MALAVOLTA et al., 1997; MALAVOLTA, 2006), sendo o Mn^{2+} deslocado e substituído pelo H^+ .

A fração residual, quando comparada às dos demais extratores, apresentou teores mais elevados de manganês, indicando que a maior porcentagem do Mn presente nos tecidos está fortemente associado à parte insolúvel (superior a 50%), não sendo nesse caso, passível de remoção pelas sucessivas extrações com água, DTPA e HCl 1N. Essa fração corresponde ao manganês presente nas estruturas de compostos ou fazendo parte de complexos muito estáveis e insolúveis, sendo pouco provável sua remoção sem o rompimento destes, ou, ainda, fazendo parte da estrutura, já que o Mn compõe a lignina (GRAHAM et al., 1988; MALAVOLTA et al., 1997; MALAVOLTA, 2006; SHARMA, 2006)

Desdobrando-se as interações triplas que ocorreram nas folhas, caule e raízes, para doses, dentro de cada extrator e cada época de coleta, verifica-se, pela Tabela 15,

que ocorreram aumentos lineares nos teores de Mn em todos extratores (água, DTPA, HCl 1N e o residual) em cada época de coleta (30, 60, 90 e 120 dias). Com o decorrer das épocas de coleta, todos os extratores apresentaram diminuição nos teores de Mn nas folhas e caule, e aumento nos teores nas raízes, podendo indicar um mecanismo de defesa da frutífera, com o decorrer do tempo, ao excesso de manganês presente na solução nutritiva. ROUT et al. (2001) constataram maior acúmulo de Mn nas raízes de genótipos tolerantes de arroz e feijão-mungo, concluindo que a ligação do Mn às matrizes pécticas das paredes celulares, o “carregamento” do Mn para os vacúolos, em virtude da ativação de adenosina trifosfatases (ATP-ases) nas membranas, a complexação com ácidos orgânicos e uma possível ligação com proteínas específicas, bem como alterações nas estruturas das membranas, podem constituir estratégias eficientes para tolerância ao excesso de manganês.

As quantidades de manganês extraídas das diferentes estruturas das mudas de caramboleira (folhas, caule e raízes) mostraram-se crescentes com o aumento da força de extração, estando a maior parte do elemento na fração residual, ou seja, fortemente associado ao tecido, o qual não foi deslocado com a utilização sucessiva dos diferentes extratores, indicando que o excesso de manganês absorvido pela planta estaria fazendo parte de compostos, exercendo funções específicas na caramboleira e não apenas totalmente livre nos tecidos.

5. CONCLUSÕES

As doses de manganês e as épocas de coleta influenciaram nos teores de macro e micronutrientes e no acúmulo de elementos, ocorrendo aumento linear nos teores e acúmulos de Mn com o incremento das doses de manganês em todas estruturas. A massa seca das folhas, caule e raízes das mudas de caramboleiras aumentaram com o aumento das doses de manganês e com o decorrer das épocas de coleta.

Ocorreu aumento na eficiência de absorção de Mn, bem como diminuição na eficiência de transporte e de uso, em função do incremento das doses de manganês, o que pode indicar mecanismo de tolerância da planta ao elemento.

Os parâmetros biológicos avaliados (altura, diâmetro do porta-enxerto, diâmetro do enxerto e área foliar) apresentaram as maiores médias na concentração de $0,5 \text{ mg L}^{-1}$ de Mn na solução nutritiva.

A maior parte do manganês foi determinada na fração residual, indicando que o manganês absorvido pela planta estaria fazendo parte de compostos, exercendo funções específicas na caramboleira e não apenas totalmente livre nos tecidos.

6. REFERÊNCIAS

ADAMS, P. Nutrition of greenhouse vegetables in NFT and hydroponic systems. **Acta Horticulturae**, Wageningen, n. 361, p. 254-257, 1994.

AGRIANUAL. **Anuário da Agricultura Brasileira**. Agra FNP Pesquisas LTDA. 2008. Disponível em: <www.ifnp.org.br>.

ANDREW, C. S.; HEGARTY, M. P. Comparative responses to manganese excess of eight tropical and four temperate pasture legume species. **Australian Journal of Agricultural Research**, Melbourne, v. 20, n. 4, p. 687-696, 1969.

ARAÚJO, P. S. R. de. **Seleção da caramboleira (*Averrhoa carambola* L.) relacionada às características biométricas e físico-químicas dos frutos**. 2000. 59 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2000.

ARAÚJO, P. S. R.; MINAMI, K. Seleção de caramboleiras pelas características biométricas e físico-químicas dos frutos. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, n. 1, p. 1-17, 2001.

ARNON, D. I. Criteria of essentiality of inorganic micronutrients for plants with special reference to molybdenum. In: WALLACE, T. **Trace elements in plant physiology**. Waltham: Chronica Botanica, 1950. p.31-39. (Biological Miscellany, 3).

BALERDI (s.d.). In: CRANE, J. H.; KNIGHT, J. R.; RODRIGUEZ, O.; CRANE, L. C. Cultivar tree growth and content a good quality index. **HortScience**, Alexandria, v. 9, p. 136-137, 1998.

BASTOS, D. C. **Efeito da época de coleta, estágio do ramo e do tratamento com IBA no enraizamento de estacas de caramboleira (*Averrhoa carambola* L.)**. 2002. 75 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2002.

BASTOS, D. C. A cultura da carambola. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 26, n. 2, prefácio, 2004.

BASTOS, D. C.; MARTINS, A. B. G.; SCALOPPI JUNIOR, E. J.; SARZI, I.; FANTINASI, J. C. Influência do ácido indolbutírico no enraizamento de estacas apicais e basais de caramboleira (*Averrhoa carambola* L.) sob condições de nebulização intermitente. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 26, n. 2, p. 284-286, 2004.

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 Agronômico, 1983. 48 p. (Boletim Técnico, 78).

BIDWELL, S. D.; WOODROW, I. E.; BATIANOFF, G. N.; SOMMER-KNUDSEN, J. Hyperaccumulation of manganese in the rainforest tree *Austromyrtus bidwillii* (Mirtaceae) from Queensland, Australia. **Funct. Plant Biology**, v. 29, p. 899-905, 2002.

BROWN, P. H.; GRAHAM, R. D.; NICHOLAS, D. J. D. The effects of manganese and nitrate supply on the levels of phenolics and lignin in young wheat plants. In: HUMPHRIES, J. M.; STANGOULIS, J. C. R.; GRAHAM, R. D. **Manganese**. 12. Handbook of plant nutrition, p. 351-374, 2006.

BURNELL, J. N. The biochemistry of manganese in plants. In: GRAHAM, R. D.; HANNAM, R. J.; UREN, N. C. **Manganese in soils and plants**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1988. p. 125-137.

CAMPBELL C. W. Carambola production in the United States. **Proceedings of the Interamerican Society for Tropical Horticultural**, Florida, v. 33, p. 47-54, 1989.

CEASA DE CAMPINAS. **Cotações.** Disponível em: http://ceasacampinas.com.br/cotacoes/2007_horti/cotacao120107.pdf. Acesso em 07 de fevereiro de 2009.

CHATTOPADHYAY, P. K.; GHOSH, A. Changes in mineral composition of inflorescence and developing carambola fruit. **Agricultural Science Digest**, Karnal, v. 14, p. 159-161, 1994.

CLARKSON, D. T. The uptake and translocation of manganese by plants roots. In: GAHAM, R. D.; HANNAM, R. J.; UREN, N. C., eds. **Manganese in soils and plants**. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 1988. p. 101-111.

COMETTI, N. N. et al. Soluções nutritivas: formulação e aplicações. In: FERNANDES, M. S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. 432 p.

CRANE, J. H. **The carambola (Star fruit)**. Florida: Florida Cooperative Extension Service/Institute of Food and Agricultural Science, University of Flórida, 1994. 8 p.

CRANE, J. H. **Tropical Fruits**. Florida: Institute of Food and Agricultural Science, University of Florida, v. 1, 1998. CD Rom.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Elementos essenciais e benéficos às plantas superiores. In: FERNANDES, M. S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006a. 432 p.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Micronutrientes. In: FERNANDES, M. S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006b. 432 p.

DONADIO, L. C.; SILVA, J. A. A.; ARAÚJO, P. R. S., PRADO, R. de M. **Caramboleira (*Averrhoa carambola* L.)** Jaboticabal: Sociedade Brasileira de Fruticultura, 2001, 81 p.

DUCIC, T.; POLLE, A. Transport and detoxification of manganese and copper in plants. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.17, p.103-112, 2005.

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

ESTAT: **Sistema para análises estatísticas (v.2.0)**. Polo computacional, Departamento de Ciências Exatas. Jaboticabal. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Unesp, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – FCAV, Câmpus Jaboticabal, 1992.

FALESI, I. C. O estado atual dos conhecimentos sobre os solos da Amazônia Brasileira. In: Instituto de Pesquisa e Experimentação Agropecuária do Norte, **Zoneamento agrícola da Amazônia**. Belém, 1972. p. 17-67. (Boletim Técnico, 54).

FAO – Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação. **FAOSTAT**. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx>>. Acesso em 03 de maio de 2009.

FOY, C. D. Differential aluminium and manganese tolerances of plant species and varieties in acid soils. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 28, n. 2, p. 150-155, 1976.

FOY, C. D. Manganese and plants. In:_____. **Manganese**. Washington: National Academy of Sciences, 1973. p. 51-76.

FOY, C. D. Physiological effects of hydrogen, aluminum, and manganese toxicities in acid soil. In: ADAMS, F. (Ed.). **Soil acid and liming**. Madison: American Society of Agronomy, 1984. p. 57-98.

FOY, C. D.; CHANEY, R. L.; WHITE, M. C. The physiology of metal toxicity in plants. **Annual Review of Plant Physiology**, Lancaster, v. 29, p. 511-566, 1978.

FOY, C. D.; SCOTT, B. J.; FISHER, J. A. Genetics and breeding of plant of manganese toxicity. In: GRAHAM, R. D.; HANNAM, R. J.; UREN, N. C. eds. **Manganese in soils and plants**. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 1988. p. 293-307.

FRANCO, C. F.; PRADO, R. M.; BRACHIOLOLI, L. F.; ROZANE, D. E. Curva de crescimento e marcha de absorção de macronutrientes em mudas de goiabeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 1429-1437, 2007

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

FREITAS, N. **Curva de crescimento e marcha de absorção de nutrientes em mudas de caramboleiras 'Nota-10'**. 2008. 81 f. Monografia (Trabalho de graduação em Agronomia).– Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2008.

FURLANI, P. R. Hydroponic vegetable production in Brazil. **Acta Horticulturae**, Wageningen, v. 2, n. 481, p. 777-778, 1999.

GALÁN SAÚCO, V.; MENINI, U. G.; TINDALL, H. D. **Carambola cultivation**. Rome: FAO, 1993, 74 p.

GERLOFF, G. C.; GABELMAN, W. H. Genetic basis of inorganic plant nutrition. In: LAÜCHLI, A.; BIELESKI, R. L. (Ed.). **Inorganic plant nutrition**. Encyclopedia of plant physiology. Berlin: Springer-Verlag. 1983. v. 15B, p. 453-486.

GRAHAM, R. D. Effect of nutrient stress on susceptibility of plants to disease with particular reference to the trace elements. **Advances in Botanical Research**, London, v. 10, p. 221-276, 1983.

GRAHAM, R. D.; HANNAM, R. J.; UREN, N. C. **Manganese in soils and plants**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. 1988. 344 p.

GRAHAM, R. D.; ROVIRA, A. D. A role for manganese in the resistance of wheat plants to take-all. In: HUMPHRIES, J. M.; STANGOULIS, J. C. R.; GRAHAM, R. D. **Manganese**. 12. Handbook of plant nutrition, p. 351-374, 2006.

GRAHAM, R. D.; WEEB, M. J. Micronutrients and disease resistance and tolerance in plants. In: MORTVEDT, J. J.; COX, F. R.; SHUMAN, L. M.; WELCH, R. M. (eds.) **Micronutrients in Agriculture**. Madison: Soil Science Society of America, Madison, p. 333–339, 1991.

HOAGLAND, D. R.; ARNON, D. I. **The water culture method for growing plants without soils**. Berkeley: The College of Agriculture University of California, 1950. 32 p.

HUBER, D. M.; KEELER, R. R.. Alteration of wheat peptidase activity after infection with powdery mildew. In: HUMPHRIES, J. M.; STANGOULIS, J. C. R.; GRAHAM, R. D. **Manganese**. 12. Handbook of plant nutrition, p. 351-374, 2006.

HUMPHRIES, J. M.; STANGOULIS, J. C. R.; GRAHAM, R. D. **Manganese**. 12. Handbook of plant nutrition, p. 351-374, 2006.

JONES JR., J. B. Hidroponics: its history and use in plant nutrition studies. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 5, n. 8, p. 1003-1030, 1982.

KIRKBY, E. A.; RÖMHELD, V. **Micronutrientes na fisiologia de plantas: funções, absorção e mobilidade**. Encarte Técnico. International Plant Nutrition Institute. Informações Agronômicas, Piracicaba, n. 118, 2007.

LEAL, R. M. **Adubação nitrogenada da caramboleira para pomar em implantação**. 2006. 53 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2003.

LEE, C. R. Interrelationships of aluminum and manganese on the potato plant. **Agronomy Journal**, Madison, v. 64, p. 546-549, 1972.

LENNOX, A.; RAGOONATH, J. Carambola and bilimbi. **Fruits**, Paris, v. 45, n. 5, p. 497-501, 1990.

LI, B.; McKEAND, S. E.; ALLEN, H. L. Genetic variation in nitrogen use efficiency of loblolly pine seedlings. **Forest Science**, v. 37, n. 2, p. 613-626, 1991.

LINDSAY, C. C.; ROSS, O. N. Physiological functions of manganese in plants. In: GRAHAM, R. D.; HANNAM, R. J.; UREN, N. C. (Eds.). **Manganese in soils and plants**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1988. p. 139-154.

LUCAS, R. E.; DAVIS, J. F. Relationships between pH values of organic soils and availabilities of 12 plant nutrients. **Soil Science**, Madison v. 92, p. 177-182, 1961.

LUCENA, J. J.; GARATE, A.; CARPENA, O. Theoretical and practical studies on chelate Ca-pH system in solution. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 11, p. 1051-1062, 1988.

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

MALAVOLTA, E.; KLIEMANN, H. J. **Desordens nutricionais no cerrado**. Piracicaba: Potafos, 1985. 136 p.

MALAVOLTA, E.; SANTOS, J. F. C. **Efficiency of the use of nutrients in acid soils – management of soil, fertilizer and crop**. Piracicaba, CENA – USP. 1996. 110 p.

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

MANICA, I. **Frutas nativas, silvestres e exóticas**. 1. Técnicas de produção e mercado: carambola. Porto Alegre, RS: Cinco Continentes Editora, p. 183-262, 2000.

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

MASS, E. V.; MOORE, D. P.; MASON, B. J. Influence of calcium and magnesium on manganese absorption. **Plant Physiology**, Minneapolis, v. 44, p. 796-800, 1969.

MATTOS JR., D.; QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H.; ALVA, A. K. Nutrient content of biomass components of Hamlin sweet orange trees. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 60, p. 155-160, 2003.

MEMON, A. R.; HINO, M.; HARA, K.; YATAZAWA, M. Microdistribution of manganese in the leaf tissues of different plant species as revealed by x-ray microanalyzer. **Plant Physiology**, Minneapolis, v. 53, p. 225-232, 1981.

MILLER-IHLI, N. J. Atomic absorption and atomic emission spectrometry for the determination of the trace element content of selected fruits consumed in the United States. **Journal of Food Composition and Analysis**, Orlando, v. 9, p. 301-311, 1996.

MORONI, J. S.; SCOTT, B. J.; WRATTEN, N. Differential tolerance of high manganese among rapeseed genotypes. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 253, p. 507-519, 2003.

MORTON, J. Carambola. In: MORTON, J. F. **Fruits of warm climates**. Miami:Flórida, 1987. p. 125-128.

MUKHOPADHYAY, M. J.; SHARMA, A. Manganese in cell metabolism of higher plants. **Botanical Review**, New York, v. 57, p. 117-149, 1991

NAKASONE, H. Y.; PAULL, R. E. **Tropical fruits crop production science in horticulture**. New York: Cab International, 1998. 445 p.

NATALE, W.; COUTINHO, E. L. M.; BOARETTO, A. E.; PEREIRA, F. M. **Goiabeira: calagem e adubação**. Jaboticabal: FUNEP, 1996. 22 p.

NATALE, W.; PRADO, R. de M.; ROZANE, D. E.; ROMUALDO, L. M.; SOUZA, H. A.; HERNANDES, A. Resposta da caramboleira à calagem. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.30, n. 4, p. 1136-1145, 2008.

NGAH, W. B. A.; AHMAD, I.; HASSAN, A. Carambola production, processing and marketing in Malaysia. **Proceedings Florida State Horticultural Society**, Tallahassee, v. 33, n. 1, p. 30-43, 1989.

OCHSE, J. J.; SOULE JÚNIOR, M. J.; DIJMAN, M. J.; WEHLBURG, C. **Tropical and subtropical agriculture**. 2 ed. New York: The Macmillan Company, 1966, p. 684-686.

OLIVEIRA, M. N. S. **Comportamento fisiológico de plantas jovens de acerola, carambola, pitanga, cupuaçu, graviola, pupunha e biriba, em função da baixa disponibilidade de água no solo**. 1996. 67 f. Lavras: Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura de Lavras, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1996.

OLIVEIRA, M. N.; MAIA, G. A.; GUEDES, Z. B. L.; GUIMARÃES, A. C. L.; FIGUEIREDO, R. W. de. Características químicas e físico-químicas da carambola (*Averrhoa carambola* L). **Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 20, p. 129-133, 1989.

PAVAN, M. A; BINGHAM, F. T. Toxidez de metais em plantas. I. Caracterização de toxidez de manganês em cafeeiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 16, n. 6, p. 825-821, 1981.

POPENOE, W. Manual of tropical and subtropical fruits. In: DONADIO, L. C.; SILVA, J. A. A.; ARAÚJO, P. R. S., PRADO, R. de M. **Caramboleira (*Averrhoa carambola* L.)** Jaboticabal: Sociedade Brasileira de Fruticultura, 2001, 81 p.

PRADO, R. M. **Efeitos da calagem no desenvolvimento, no estado nutricional e na produção de frutos da goiabeira e da caramboleira**. 2003. 68 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2003.

PRADO, R. M.; NATALE, W.; ROZANE, D. E. Soil-liming effects on the development and nutritional status of the carambola tree and its fruit-yielding capacity.

Communications in Soil Science and Plant Analysis, Philadelphia, v. 38, p. 493-511, 2007.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001, 285 p.

ROUT, G. R.; SAMANTARAY, S.; DAS, P. Studies on differential manganese tolerance of mung bean and rice genotypes in hydroponic culture. **Agronomie**, Paris, v. 21, p. 725-733, 2001.

ROZANE, D. E. **Crescimento e acúmulo de nutrientes em caramboleiras nas fases de hipobioto, muda e plantas em formação**. 2008. 161f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2008.

ROZANE, D. E.; PRADO, R. M.; FRANCO, C. F.; NATALE, W. Eficiência de absorção, transporte e utilização de macronutrientes por porta-enxertos de caramboleira, cultivados em soluções nutritivas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 4, p. 1020-1026, 2007.

SADASIVAN, T. S. Effect of mineral nutrients on soil microorganisms and plant disease. In: HUMPHRIES, J. M.; STANGOULIS, J. C. R.; GRAHAM, R. D. **Manganese**. Handbook of plant nutrition, p. 351-374, 2006.

SALVADOR, J. O.; MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E.; CABRAL, C. P. Influência do boro e do manganês no crescimento e na composição mineral de mudas de goiabeira. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 27, n. 2, p. 325-331, 2003.

SALVADOR, J. O.; MOREIRA, A.; MURAOKA, T. Deficiência nutricional em mudas de goiabeira decorrente da omissão simultânea de dois macronutrientes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 10, p. 1623-1631, 1998.

SALVADOR, J. O.; MOREIRA, A.; MURAOKA, T. Efeito da omissão combinada de N, P, K e S nos teores foliares de macronutrientes em mudas de goiabeira. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 56, p. 501-507, 1999.

SANTOS, O. S. (Ed). **Cultivo sem solo: hidroponia**. Santa Maria: UFSM/CCR, 2000. 107 p.

SAÚCO, V. G. Possibilities of no-citrus tropical fruit in the Mediterranean. **Acta Horticulturae**, Hague, n. 365, p. 25-41, 1994.

SHARMA, C. P. **Plant micronutrients**. Department of Botany, Lucknow University, Lucknow, India. Science Publishers. 2006. 265 p.

SIDDIQI, M. Y.; GLASS, A. D. M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient efficiency in plants. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v. 4, n. 3, p. 289-302, 1981.

SILVA, H.; SILVA, A. Q.; CAVALCANTI, A. T.; MALAVOLTA, E. Composição mineral das folhas de algumas fruteiras do Nordeste. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 7., 1984, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: EMPASC/SBF, 1984. v. 1, p. 320-325.

SIMONNE, A.; BOBROFF, L. B.; COOPER, A.; POIRIER, S.; MURPHY, M.; OSWALD, M. J.; PROCISE, C. **South Florida Tropical's: carambola**, source: USDA NDB Number 09060, 2007.

SWIADER, J. M.; CHYAN, Y.; FREIJI, F. G. Genotypic differences in nitrate uptake and utilization efficiency in pumpkin hybrids. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v. 17, n. 10, p. 1687-1699, 1994.

TOMAZ, M. A.; SILVA, S. R.; SAKIYAMA, N. S.; MARTINEZ, H. E. P. Eficiência de absorção, translocação e uso de cálcio, magnésio e enxofre por mudas enxertadas de *Coffea arábica*. **Revista Brasileira Ciência Solo**, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 885-892. 2003.

UDEL'NOVA, T. M.; BOICHENKO, E. A.; KARYAKIN, A. V. Polyvalent metals in chloroplasts. **Fiziologiya Rastenii**, Moscow, v. 23, p. 115-409, 1976.

USDA – United States Department of Agriculture – Classification for Kingdom Plantae Down to Species *Averrhoa carambola* L. Natural Resources Conservation Service – **Plants**, Database 2006. Disponível em: <<http://plants.usda.gov/index.html>>. Acesso em 12 de janeiro de 2009.

VELOSO, C. A. C.; MURAOKA, T.; MALAVOLTA, E.; CARVALHO, J. G. de. Influência do manganês sobre a nutrição mineral e crescimento da pimenteira do reino. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.52, n.2, p.376-383, 1995.

WHATLEY, F. R.; ORDIN, L.; ARNON, D. I. Distribution of micronutrient metals in leaves and chloroplast fragments. **Plant Physiology**, Minneapolis, v. 26, p. 414-418, 1951.

YAN, S. L.; TSAY, C. C.; CHEN, Y. R. Isolation and characterization of phytochelatin synthase in rice seedlings. **Proceedings of the National Science. Council**, Part B, v. 24, p. 202-207, 2000.