

**UNESP – UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
CÂMPUS DE BOTUCATU  
INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS**

**INFLUÊNCIA DO MAGNÉSIO NO DESENVOLVIMENTO, TROCAS  
GASOSAS E RENDIMENTO DE ÓLEO ESSENCIAL DE *Mentha piperita* L.  
CULTIVADA EM SOLUÇÃO NUTRITIVA**

**MARIA CRISTINA PRADO VASQUES**

**Dissertação apresentada ao Instituto de  
Biotecnologia, Câmpus de Botucatu, UNESP, para  
obtenção do título de Mestre em Ciências  
Biológicas (Botânica), AC: Fisiologia Vegetal.**

**BOTUCATU – SP**

**-2007-**

**UNESP – UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
CÂMPUS DE BOTUCATU  
INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS**

**INFLUÊNCIA DO MAGNÉSIO NO DESENVOLVIMENTO, FOTOSSÍNTESE E  
RENDIMENTO DE ÓLEO ESSENCIAL DE *Mentha piperita* L. CULTIVADA EM  
SOLUÇÃO NUTRITIVA**

**MARIA CRISTINA PRADO VASQUES**

**PROF<sup>a</sup> DR<sup>a</sup> CARMEN SÍLVIA FERNANDES BOARO  
ORIENTADORA**

**Dissertação apresentada ao Instituto de  
Biotecnologia, Câmpus de Botucatu, UNESP, para  
obtenção do título de Mestre em Ciências  
Biológicas (Botânica), AC: Fisiologia Vegetal.**

**BOTUCATU – SP**

**-2007-**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO  
DA INFORMAÇÃO  
DIVISÃO TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - CAMPUS DE BOTUCATU - UNESP  
BIBLIOTECÁRIA RESPONSÁVEL: *Selma Maria de Jesus*

Vasques, Maria Cristina Prado.

Influência do magnésio no desenvolvimento, trocas gasosas e rendimento de óleo essencial de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva / Maria Cristina Prado Vasques. – Botucatu : [s.n.], 2007.

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Botucatu, 2007.

Orientadora: Carmen Sílvia Fernandes Boaro

Assunto CAPES: 20303009

1. Fisiologia vegetal 2. Plantas medicinais – Fisiologia

CDD 581.1

Palavras-chave: Eficiência fotossintética; Lamiaceae; Macronutrientes; Menta; Nutrição mineral;

"Aprender é a única coisa de  
que a mente nunca se cansa,  
nunca tem medo e nunca se  
arrepende."

Leonardo da Vinci



Ao meu avô Durvalino,  
que em todos os momentos  
importantes da minha vida esteve  
sempre na torcida.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, força maior que sempre me guia.

À Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Carmen Silvia Fernandes Boaro, pela orientação e confiança

Ao Prof. Lin Chau Ming, pela gentileza em disponibilizar o Laboratório de Plantas Medicinais.

À Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Martha Maria Mischan, pela paciência na realização das análises estatísticas.

Ao auxiliar acadêmico do Departamento de Botânica, José Eduardo Costa, por todo auxílio prestado durante a realização deste trabalho.

Aos funcionários do Departamento de Botânica e da Seção de Pós-graduação, pela atenção dispensada.

À Universidade Estadual Paulista e ao corpo docente do Departamento de Botânica, pela oportunidade que me deram para a conclusão de mais uma etapa .

Aos amigos do Departamento de Botânica, Valdir, Juliana De Fazio, Leandro, Lina, Leonardo, Lígia e Flávia, pela ajuda prestada e pelos momentos de alegria e descontração.

Ao amigo Jeferson pelo auxílio nas avaliações de trocas gasosas.

Aos grande amigos Antônio Guedes Júnior, Juliana Zibordi Gião, Laura Arruda, Elaine Porto Amorim, Ligiane Baggio e Marina pela amizade e apoio em todos os Momentos.

## ÍNDICE

|  |    |
|--|----|
| 1. RESUMO.....   | 1  |
| 2. ABSTRACT.....   | 3  |
| 3. INTRODUÇÃO.....   | 4  |
| 4. REVISÃO DE LITERATURA.....  | 6  |
| 5. CAPÍTULO I –Magnésio no desenvolvimento e rendimento de óleo essencial de <i>Mentha piperita</i> L. cultivada em solução nutritiva.....         | 16 |
| 6. CAPÍTULO II – Análise de crescimento e trocas gasosas de <i>Mentha piperita</i> L. cultivada em solução nutritiva com variação de magnésio..... | 32 |
| 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....   | 54 |
| 8. CONCLUSÕES.....   | 57 |
| 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....   | 59 |
| 10. APÊNDICES.....   | 63 |

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

**RESUMO** - O aumento de interesse das indústrias de cosméticos, alimentícia, e principalmente farmacêutica, pelo óleo essencial da hortelã pimenta (*Mentha piperita* L.) vem agregando valor econômico a essa planta medicinal. Por esse motivo, seus produtores têm mostrado desempenho em aumentar sua produtividade, tanto em biomassa como em óleo essencial. Tal produtividade, dependente de fatores do ambiente, pode variar com a nutrição mineral, constituída de alguns elementos minerais e entre eles, do magnésio, que é o átomo central da clorofila e atua como ativador enzimático em muitas reações metabólicas, incluindo as que ocorrem na fotossíntese e síntese protéica, entre outras. O presente estudo objetivou avaliar a influência da variação dos níveis de magnésio no desenvolvimento, fotossíntese e rendimento de óleo essencial de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva. O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Botânica do Instituto de Biociências da Universidade Estadual Paulista, Campus de Botucatu, SP. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com quatro repetições, quatro tratamentos, constituídos por quatro níveis de magnésio e cinco colheitas para avaliação do desenvolvimento e rendimento de óleo. As trocas gasosas, no entanto, com o mesmo delineamento, foram determinadas em quatro épocas. Para tanto, as plantas foram cultivadas em solução nutritiva completa nº 2 de Hoagland & Arnon (1950), contendo 48,6 mg L<sup>-1</sup> de magnésio e na mesma solução com sua redução em 50%, 24,3 mg L<sup>-1</sup>, 75%, 12,1 mg L<sup>-1</sup> e 95%, 2,4 mg L<sup>-1</sup>, onde permaneceram até as datas de colheitas, realizadas aos 21, 49, 63, 77 e 92 dias após o transplante das mudas para a solução nutritiva, para a determinação do comprimento de parte aérea, área foliar, matéria seca de lâminas foliares, de caules mais pecíolos, de raízes e total das plantas. A análise de crescimento foi realizada nas mesmas épocas, por meio dos índices fisiológicos, taxa de crescimento relativo (TCR), taxa assimilatória líquida (TAL), razão de área foliar (RAF) e área foliar específica (AFE). As colheitas para a análise do rendimento de óleo essencial foram realizadas aos 45, 60, 75, 90 e 105 dias após o transplante das mudas para a solução nutritiva. O óleo essencial foi extraído da parte aérea das plantas, constituída pelos caules, pecíolos e lâminas foliares, por hidrodestilação em aparelho tipo Clevenger, durante uma hora e meia. Após a destilação, o rendimento do óleo foi medido em g 50 g<sup>-1</sup> de matéria fresca. Quatro avaliações de trocas gasosas foram realizadas aos 9, 34, 91 e 109 dias após transplante das mudas para os tratamentos, utilizando-se IRGA 6400 LICOR (“*Infra Red Gás Analyser*”). O comprimento de parte aérea, a área foliar, a matéria seca de lâminas foliares, de caules mais pecíolos, de raízes e total das plantas, os índices fisiológicos RAF, AFE, TAL e TCR, as taxas de trocas gasosas, assimilação líquida de CO<sub>2</sub>, concentração interna de CO<sub>2</sub>, condutância estomática e transpiração, além do rendimento de óleo essencial foram influenciados pela redução do nível de magnésio na solução nutritiva. No entanto, essas variáveis apresentaram resultados satisfatórios quando as plantas foram cultivadas com 24,3 mg L<sup>-1</sup> de magnésio e, portanto, com redução de 50% do nutriente. Por outro lado, de maneira geral, a redução do nível de magnésio para 12,1 e 2,4 mg L<sup>-1</sup> prejudicou o desenvolvimento, fotossíntese e o rendimento de óleo essencial. Com base nos resultados pode-se sugerir nível excessivo de magnésio na

solução completa contendo 48,6 mg L<sup>-1</sup>. Deve-se ressaltar que a época de colheita das plantas, além dos níveis de magnésio influenciaram o rendimento de óleo essencial. Na dependência da idéia econômica que se faça, ou seja, comercialização de parte aérea ou de óleo essencial, níveis de magnésio diferentes podem ser utilizados o que, no entanto, não exclui a necessidade da análise de sua composição.

**Palavras-chave:** eficiência fotossintética, Lamiaceae, macronutriente, menta, nutrição mineral.

## ABSTRACT

### **Magnesium on the development, exchange gas and essential oil yield of peppermint (*Mentha piperita* L.) grown in nutritive solution.**

The growth of interest to essential oil of peppermint (*Mentha piperita* L.) on the cosmetic industry, nourishing industry, and mainly pharmaceutical industry, comes adding economic value to this medicinal plant. Thus, it's constant the search of the producers of medicinal plants for the increase of its productivity, as much biomass how much essential oil. This research aimed to evaluate the development, the gaseous exchanges and in essential oil yield of mint. The experiment was conducted in greenhouse from Departamento de Botânica of Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, UNESP, Botucatu, SP. Thus, plants were grown in a n° 2 Hoagland & Arnon nutritive solution, which contains 48,6 mg L<sup>-1</sup> of magnesium and the same solution with Mg<sup>+2</sup> reduction for 50%, 24,3 mg L<sup>-1</sup>, 75%, 12,1 mg L<sup>-1</sup> and 95%, 2,4 mg L<sup>-1</sup>, where the plants remained until dates of harvests, which were performed at 21, 49, 63, 77, and 92 days after the transplantation of seedlings to nutritive solution, to growth analysis. Shoot length and fresh matter, leaf area, and dry matter of blades, stems plus petioles, roots and total of the plants were determined in each harvest. For growth analysis, the physiological indexes absolute growth rate (AGR), relative growth rate (RGR), net assimilation rate (NAR), leaf area rate (LAR) and specific leaf area (SLA) were measured. The harvests to analysis of yield essential oil were performed 45, 60, 75, 90 and 105 days after the transplantation of seedlings to nutritive solution. Essential oil was extracted from plant shoot, which was constituted of stems, petioles and blades, through hydrodistillation in a Clevenger-type device for one and half hour. After distillation, oil yield was calculated as g 50 g<sup>-1</sup> fresh matter. Four evaluations of gas exchanges through device IRGA 6-400 LICOR (Infra Red Gas Analyser) had been carried trough. The design was completely randomized with four treatments constituted of four levels of magnesium, five epochs, with intervals of 15 days after transplantation (DAT) of seedlings to nutritive solution. Shoot length, leaf area, dry matter of leaf blades, stems plus petioles, roots and total of the plants, the physiological indexes LAR, SLA, AGR, NAR and RGR, exchange gas indices, besides of their essential oil yield were influenced by magnesium level decrease in nutritive solution. The variables showed better behavior when plants were grown with 24,3 mg L<sup>-1</sup>. Thus, an excessive level of magnesium in nutritive solution is suggested. In a general way, the reduction of magnesium level to 12,1 and 2,4 mg L<sup>-1</sup> damaged the development and thus, exchange gas indices and the essential oil yield. It must be standed out that the time of harvest of the plants, beyond the magnesium levels had influenced the essential oil income. In the dependence of the economic idea that it makes, that is, commercialization of aerial part or essential oil, different magnesium levels can be used what, however, it does not exclude the necessity of the analysis of its composition.

**Key words:** Lamiaceae, mint, exchange gas, mineral nutrition, macronutrient.

## INTRODUÇÃO

Com a percepção da consciência pelo homem, nos primórdios da civilização, surgiram também as atividades extrativistas que visavam principalmente alimentação e cura dos males que o afligia. Sua atenção, portanto, voltou-se para o cultivo das plantas e criação de animais e assim, as plantas sempre acompanharam o homem ao longo da sua linha evolutiva.

O cultivo das plantas medicinais é, portanto, prática milenar que ultrapassou todas as barreiras e obstáculos durante o processo evolutivo. Nos dias atuais, tais plantas são amplamente utilizadas por grande parte da população mundial (Di Stasi, 1996). As plantas medicinais têm sido usadas em países em desenvolvimento como tratamento alternativo para problemas de saúde (Duarte et al., 2005).

O estudo dessas espécies medicinais além de gerar milhões em investimentos por meio de seus diversos produtos, possibilita o conhecimento dos costumes e crenças de um povo. O Brasil possui muitas espécies vegetais utilizadas com fins medicinais, que se destacam pela presença de numerosas classes de produtos naturais, acumulados durante o seu desenvolvimento (Voirin & Bayet, 1996; Gershenzon et al., 2000; Larcher, 2000). Esses produtos, resultantes do metabolismo secundário para defesas contra herbívoros e patógenos, utilizam como matéria-prima as substâncias originadas do metabolismo primário.

O óleo essencial, produto natural encontrado nas plantas medicinais, apresenta composição complexa, geralmente com vários tipos de substâncias terpênicas (Larcher, 2000), frequentemente encontrados em tricomas glandulares que se projetam da epiderme e agem na defesa do vegetal (Taiz & Zeiger, 2004; Turner et al., 2000).

A *Mentha piperita* L., híbrido da *Mentha spicata* x *Mentha aquática* é conhecida também como hortelã, hortelã pimenta, menta, menta inglesa, hortelã-apimentada ou sândalo. A importância econômica da espécie encontra-se na produção de mentol, monoterpene componente de seu óleo essencial. Trata-se, portanto, da planta produtora de óleo essencial mais cultivada no mundo (Gershenzon et al., 2002).

Como ocorre com todos os compostos naturais, o óleo essencial pode apresentar variação em sua composição e volume produzido devido a diversos fatores abióticos e o estado nutricional e especialmente estresses interferem com esses compostos (Larcher, 2000). Além disso, pode variar durante as fases de crescimento,

tornando-se importante que a planta seja colhida na época apropriada (Castro et al. 2001).

Dessa forma, entre os elementos essenciais que devem estar presentes na nutrição para atender às necessidades vegetais, o magnésio é um macronutriente que exerce papel chave no crescimento e desenvolvimento, pois além de ser átomo central da molécula de clorofila, é essencial para o funcionamento de muitas enzimas, entre as quais, RNA polimerases, ATPases, proteína quinase, fosfatases, glutatona sintase e carboxilase. Está diretamente envolvido com a síntese de proteínas pela planta, sendo requerido para a formação da RNA polimerase e apresentando função essencial na agregação das subunidades de ribossomos (Marchner, 1995).

Entre as enzimas ativadas pelo magnésio devem ser destacadas aquelas que exercem suas funções no Ciclo de Calvin, como a ribulose 1,5 bifosfatase carboxilase oxigenase, quinase de fosfoglicerato, frutose 1,6 bifosfatase, sedoheptulose 1,7 bifosfatase e fosforibuloquinase.

Apesar da importância desse e de outros nutrientes inorgânicos, deve ser registrada a existência de poucos estudos na literatura que investigaram a influência da nutrição mineral no desenvolvimento da *Mentha piperita*. Entre eles não foram identificados estudos com variação de magnésio.

Além da disponibilidade de nutrientes, a produtividade das plantas é determinada também pela quantidade de folhas que possui e atividade fotossintética de cada uma, sendo todos esses fatores importantes para o ganho de matéria orgânica. Como a nutrição mineral afeta a fotossíntese, a disponibilidade de fotossintatos também regula o metabolismo e a absorção dos nutrientes minerais e maior matéria orgânica pode ser obtida quando as condições do meio são favoráveis para o crescimento (Marenco et al, 2001).

Com base no acima exposto, o presente estudo objetivou avaliar o desenvolvimento, a fotossíntese e a produção de óleo essencial de *Mentha piperita* L. submetida à variação do nível de magnésio na solução nutritiva.

## REVISÃO DE LITERATURA

A família Lamiaceae pertence à subclasse Asteridae e à ordem Lamiales (Cronquist, 1981) e possui aproximadamente 300 gêneros e 7500 espécies. No Brasil, ocorrem 26 gêneros e cerca de 350 espécies (Souza & Lorenzi, 2005). Muitos desses gêneros foram trazidos pelos colonizadores e se aclimataram facilmente, sendo cultivados em hortas e jardins, como o gênero *Mentha* (menta), *Ocimum* (alfavaca), *Lavandula* (alfazema), *Origanum* (orégano), *Majorana* (manjerona), *Rosmarinus* (alecrim) e *Salvia* (sálvia) (Joly, 1993). Essas espécies são conhecidas pela produção de óleos essenciais, que lhes conferem odor característico.

Atualmente, o grande interesse pelos óleos essenciais, nas indústrias de cosméticos, alimentícia, e principalmente farmacêutica, vêm agregando valor econômico às espécies da família Lamiaceae.

Dentre essas espécies encontra-se a *Mentha piperita* L., conhecida como hortelã, hortelã pimenta, menta, menta inglesa, hortelã-apimentada ou sândalo. Trata-se de erva aromática, anual ou perene, apresenta porte herbáceo, raiz fibrosa, caule ereto, ramos também eretos e opostos e folhas opostas, decussadas, curto-pecioladas, planas, agudas, serrilhadas, e pouco pubescentes. A espécie apresenta numerosas flores violáceas, hermafroditas, diclamídeas, pentâmeras, zigomorfas, formando espigas nos ápices dos ramos. A corola é gamopétala e bilabiada e o fruto é formado por quatro aquênios (Di Stasi & Hiruma-Lima, 2002).

A ISO (International Standard Organization) define entre os óleos essenciais, aqueles obtidos de partes de plantas por meio de destilação por arraste com vapor d'água. De forma geral, os óleos, são misturas complexas de substâncias voláteis, lipofílicas, geralmente odoríferas e líquidas. Também podem ser chamados de óleos voláteis, óleos etéreos ou essências (Simões & Spitzer, 2000).

Antigamente os óleos essenciais eram considerados como simples resíduos do metabolismo vegetal. Com a expansão dos estudos na química e bioquímica pode-se constatar que esses óleos desempenham funções de defesa na planta, além de apresentarem importância do ponto de vista ecológico, nas interações planta-planta, planta-inseto e planta-animal (Gottlieb, 1985; Larcher, 2000; Taiz & Zeiger, 2004).

Segundo Gottlieb (1985), a interação planta-animal é caracterizada em especial pela função antiherbivoria que os óleos essenciais apresentam e mais de 100.000 grupos químicos já foram identificados nos vegetais (Howe & Westley, 1988).

O óleo essencial apresenta composição complexa, geralmente com vários tipos de substâncias terpênicas, como hidrocarbonetos terpênicos, álcoois simples e terpênicos e outros compostos como aldeídos, cetonas, fenóis, ésteres, éteres, óxidos, peróxidos, furanos, ácidos orgânicos, lactonas, cumarinas e também compostos de enxofre. Na mistura, tais compostos apresentam-se em diferentes concentrações, sendo um deles normalmente majoritário, existindo outros em menores teores e alguns em baixíssimas quantidades, ou seja, traços (Larcher, 2000; Simões & Spitzer, 2000), freqüentemente encontrados em tricomas glandulares que se projetam da epiderme (Taiz & Zeiger, 2004).

Assim como todos os compostos naturais, o óleo essencial, pode variar quanto à sua composição e quanto ao seu volume, devido aos diversos fatores abióticos. O estado nutricional e especialmente estresses modificam a quantidade desses compostos naturais (Larcher, 2000).

Maia (1998) registrou variações químicas e físicas dos componentes do óleo essencial de menta, por se tratar de mistura de compostos de diversas naturezas que a planta acumula a taxas específicas. A composição química dos óleos essenciais, portanto, é influenciada pelo ambiente no qual o vegetal se desenvolve e pelo tipo de cultivo realizado. A intensidade da biossíntese de óleos essenciais que são compostos de valor comercial, de modo freqüente, está correlacionada com a otimização da nutrição mineral (Mairapetyan, 1999; Simões & Spitzer, 2000). Dessa forma, plantas desenvolvidas em diferentes condições podem conter óleos com características diferentes.

Rabak (1917) trabalhando com *Mentha piperita* L. obteve o maior rendimento de óleo quando as plantas atingiram o máximo florescimento, afetado pelas condições de solo e clima. O autor refere ainda que se as plantas forem secas antes da destilação pode ocorrer redução na produção do óleo, em função de mudanças favoráveis à formação de ésteres e produção de ácidos livres. Conclui também, que o rendimento de óleo nas plantas decresce com a maturação, incrementando sua porcentagem de ésteres e o teor de mentol, portanto, importante componente do óleo apresentando relação com o conteúdo de ésteres diminui.

Dessa forma alguns estudos e entre eles o de Castro et al. (2001) demonstram variação de rendimento e composição de óleo durante as fases de crescimento, tornando-se importante que se realize a colheita na época apropriada.

Outros estudos têm demonstrado que, além da nutrição mineral, a época de cultivo e de colheita das plantas pode alterar a quantidade e a qualidade do óleo obtido (Topalov & Zhelyazkov, 1991). Esses autores estudaram *Mentha piperita* L. e *M. arvensis* L., com 50% e 100% de florescimento, e após o florescimento e seus efeitos na produção de óleo. Os maiores rendimentos de ambas as espécies foram alcançados com 50% de florescimento. No entanto, o conteúdo de mentol no óleo da *Mentha piperita* L. aumentou nas colheitas mais tardias, e assim, a colheita após o florescimento, apesar de diminuir o rendimento de óleo, aumentou sua qualidade, com maior teor de mentol. Já para *Mentha arvensis* L., a colheita após o florescimento não afetou o teor de mentol no óleo, mas, o rendimento e a qualidade foram reduzidos com a colheita muito precoce.

A época de florescimento, no entanto, influencia o óleo, que apresenta variações mesmo quando as plantas são tratadas com níveis ótimos dos nutrientes. Leal (2001), David (2003) e Valmorbida (2003) estudaram *Mentha piperita* L., cultivada em solução nutritiva nº 2 de Hoagland & Arnon (1950) com variação respectivamente de nitrogênio, fósforo e potássio, em relação aos níveis preconizados na solução completa. Leal (2003) realizou cultivo entre dezembro e março, David (2003) entre janeiro e maio e Valmorbida (2003) entre outubro e fevereiro. No estudo de Leal (2001) as plantas submetidas ao tratamento com nível completo de nitrogênio e igual a 210 mg L<sup>-1</sup> floresceram. Nos outros dois estudos, mesmo as plantas submetidas ao tratamento com solução nutritiva completa, não floresceram. Estes resultados dificultam ainda mais a decisão sobre o melhor momento para a colheita das plantas com possibilidade de obtenção de maior rendimento e melhor qualidade do óleo.

O óleo essencial da *Mentha piperita* L. é composto além de mentol, por outros terpenos como mentona, isomentona e neomentol (Zakharova et al., 1986), linalol, linalil acetato, carvona (Shukla et al., 1998), mentofurano, alfa-pineno, felandreno, ácido iso-valeriânico e cineol (Bustamante, 2002) e de flavonas como a himenoxina, mentocubanona, dimetilsudaquitina e nevadensina (Zakharova et al., 1986). Esses compostos naturais conferem a *Mentha piperita* L., efeitos de estomático, carminativo e vermífugo (Conceição, 2000), estimulante digestivo e intestinal que aumenta a produção de bile, promovendo alívio de tosse da bronquite e pneumonia (Kiefer, 2005), sendo usada como inalante para amenizar outros sintomas respiratórios. É antiséptica,

cardiotônica, galactagoga e antiespasmódica, apresentando ainda efeitos contra a gastrite e o reumatismo (Albuquerque, 1989), além de efeito estimulante, reduzindo a sonolência (Norrish et. al, 2005). O óleo essencial de hortelã pimenta apresenta também elevado conteúdo de fenólicos totais e de ácido ascórbico na biomassa seca (Capecka et al., 2005).

Apesar do mentol ser empregado na indústria alimentícia para o aroma de balas e chicletes, na indústria de cosméticos como aroma de cremes de barba e dental, é na indústria farmacêutica que se concentra a atenção dos pesquisadores para esse componente do óleo.

Nessa área, o óleo essencial da *Mentha piperita* L. tem demonstrado efeito antiviral contra o vírus herpes simplex tipo 1 e tipo 2 (HSV-1 e 2), (Schuhmacher et. al, 2003). Apresenta efeito antibacteriano contra *Escherichia coli* (Moreira et. al, 2005) e contra *Salmonella enteriditis* e *Staphylococcus aureus* (Tassou et al., 2000), efeito antifúngico moderado contra *Candida albicans* (Duarte et al., 2005) e *Fusarium verticilloides* (López et al., 2004) e efeito antioxidante contra o radical livre DPPH (2,2-diphenyl 1 – pecrylhydrazyl). Também foi demonstrado efeito larvicida contra *Culex quinquefasciatus*, *Anopheles stephensi*, *Anopheles annularis*, *Anopheles culicifacies* e *Aedes aegypti*, mosquitos causadores de doenças em países em desenvolvimento, como a malária, filariose e dengue (Ansari et al., 2000).

Quando se considera a produção de óleo, plantas aromáticas desenvolvidas em hidroponia apresentaram maior produtividade em relação àquelas cultivadas de modo tradicional, acumulando de 3 a 6 vezes mais óleo essencial por área (Mairapetyan, 1999).

A escolha da solução nutritiva para o cultivo hidropônico é fundamental para o seu êxito. De acordo com Malavolta 1980, cada espécie vegetal apresenta exigência nutricional diferente e sendo assim, não existe uma solução ideal para todas as espécies vegetais. Portanto, a escolha de uma solução nutritiva depende de fatores, ligados com a própria solução, com as condições de clima e com a espécie vegetal. A composição da solução deve variar com o crescimento da planta, sendo a amplitude de variação dependente da relação entre seu crescimento e o volume de solução empregado. A variação induzida pelo crescimento causa decréscimo nas quantidades de sais disponíveis para as raízes, além de levar a alteração qualitativa, uma vez que, nem todos os elementos são absorvidos nas mesmas proporções. Desta forma, o desenvolvimento das plantas envolve, a escolha de solução apropriada para o plantio, o controle contínuo

com adição de sais, o controle do pH e a substituição periódica de toda a solução (Sarruge, 1975).

Vários estudos foram realizados com o objetivo de avaliar os efeitos da nutrição mineral sobre a produção e a composição do óleo essencial de espécies da família Lamiaceae, dentre elas *Mentha piperita*, *Mentha spicata*, *Ocimum basilicum*, *Thymus vulgaris*, *Mentha crispa* e *Mentha arvensis*. Esses estudos, que não incluem o magnésio, avaliaram a influência das relações N: P: K (Mairapetyan, 1999), das variações dos níveis de N (Leal, 2001), P (David, 2006) e K (Valmorbida, 2006) e da relação  $\text{NO}_3^-$ :  $\text{NH}_4^+$ , no desenvolvimento e qualidade do óleo essencial da *Mentha piperita* L., a influência do cálcio em *Mentha spicata* x *suaveolens* (Picchi et al., 2002), da diluição e concentração da solução nutritiva proposta por Furlani (1998) no desenvolvimento de *Ocimum basilicum* (Santos et al., 2000), da variação de P no desenvolvimento de *Thymus vulgaris* L. (Bueno et al., 2004), da variação de cálcio no desenvolvimento de *Mentha crispa* L. (Ferrari et al., 2005) da deficiência de zinco em *Mentha arvensis* (Misra, 1990) e da influência da deficiência de Mn no conteúdo de óleo essencial de três cultivares de *Mentha spicata* L. (Singh et al., 2001). Todos esses estudos demonstraram que as diferentes espécies apresentam comportamentos variáveis de acordo com os nutrientes e suas dosagens. No entanto, deve ser ressaltado, uma vez mais, que entre esses estudos nenhum avaliou o magnésio, macronutriente que pode encontrar-se no vegetal associado a ânions não difusíveis, como oxalato e pectato (Kirkby & Mengel, 1967). Cerca de 70% do magnésio total dos tecidos vegetais são difusíveis e se encontram associados a ânions inorgânicos e ânions de ácidos orgânicos, tais como malato e citrato. O teor de magnésio nos tecidos vegetais é, em geral, da ordem de 0,5% da massa seca (Mengel & Kirkby, 1987).

O magnésio apresenta-se como o átomo central da molécula de clorofila, onde exerce papel estrutural (Marchner, 1995) e é essencial para o funcionamento de muitas enzimas, entre as quais, RNA polimerases, ATPases, proteína quinase, fosfatases, glutatona sintase e carboxilase. Está diretamente envolvido com a síntese de proteínas no vegetal, é requerido para a formação da RNA polimerase e apresenta função essencial na agregação das subunidades de ribossomos (Marchner, 1995).

O magnésio como átomo central da molécula de clorofila (Hinkle & Eisennenger, 1950 e Taiz & Zeiger, 2004), contém alguns elétrons frouxamente ligados. Na transferência de energia no cloroplasto, quando os pigmentos do complexo antena recebem luz, transferem essa energia para o centro de reação, concentrando-a em quantidade suficiente para retirar

elétron do magnésio para ser transferido para o fotossistema II. Esse elétron passa então, por uma série de carreadores e frequentemente, reduzem o fotossistema.

Um sinal característico da deficiência de magnésio é a clorose internerval da folha, primeiro, nas folhas mais velhas devido à elevada mobilidade do elemento. Esse padrão de clorose ocorre porque a clorofila nos feixes vasculares permanece inalterada por períodos mais longos que a clorofila nas células entre os feixes. Se a deficiência é muito intensa, as folhas podem tornar-se amarelas ou brancas. Na deficiência de magnésio também pode ser verificada abscisão foliar prematura (Taiz & Zeiger, 2004).

A proporção do magnésio total ligado à clorofila depende muito do suprimento deste elemento, variando entre 6 e 25%. Nas folhas, os outros 5 a 10% estão ligados a pectatos nas paredes celulares, ou precipitados como sais solúveis de reserva no vacúolo, como, por exemplo, fosfato e 60 a 90% são extraídos com água (Marchner, 1995). Nesses órgãos a concentração de magnésio não ligada em estruturas orgânicas, mas, localizada em “pool metabólico”, no citoplasma e cloroplasto, é regulada e encontra-se na faixa de 2 a 10 mM (Leigh & Wyn Jones, 1986). O vacúolo é o principal “pool de armazenamento” de magnésio para a manutenção de sua homeostase no “pool metabólico”.

O teor de magnésio nos cloroplastos normais é elevado, como foi demonstrado por Stocking & Ongum (1962) e Larkum (1968). Epstein (1975) sugeriu que os plastídeos conteriam magnésio além da fração associada à clorofila. Tal fato, segundo o mesmo autor, poderia ser justificado pelas funções de conversão e conservação de energia, exercidas pelos cloroplastos e pelo fato de ser o magnésio o ativador mais comum das enzimas relacionadas com o metabolismo energético.

Nas células foliares, no mínimo 25% da proteína total estão localizadas nos cloroplastos. Isto explica porque a deficiência de magnésio afeta o tamanho, a estrutura e a função dos cloroplastos, incluindo a transferência de elétron no fotossistema II (McSwain et al., 1976). A redistribuição do magnésio das folhas maduras para jovens ou outra região de crescimento ativo é intensificada nas plantas deficientes e assim, os sinais visuais são mais precoces ou mais intensos nas folhas maduras, completamente expandidas. Isto indica maiores taxas de degradação protéica, incluindo as proteínas estruturais dos tilacóides e explica porque nas plantas deficientes em magnésio os outros pigmentos fotossintéticos são, de modo freqüente afetados tal como a clorofila (Scott & Robson, 1990).

Barber (1976) observou que as variações nas concentrações de Mg no estroma afetam o empilhamento de tilacóides e a eficiência da transferência de energia entre os fotossistema I e II. Hinkle & Eisenmenger (1950), demonstraram que a carência de magnésio causa diminuição do conteúdo de clorofila, xantofila e caroteno das folhas inferiores de diversas plantas.

Cobra e Netto et al (1971) observaram alterações na coloração dos cloroplastos, que se apresentaram cloróticos e fragmentados, verificando-se ainda, nos mais esbranquiçados, a presença de amido, com desorganização dos tecidos na área dos sinais de carência. Balakrishnan et al. (2000) demonstraram a influência da deficiência de Mg na composição de pigmentos e na fotossíntese de cultivares das frutas tropicais, manga, laranja e sapoti e verificaram redução de 48% da clorofila total (clorofilas a e b) em manga. A deficiência de Mg resultou também em aumento da relação clorofila a/clorofila b devido a decréscimo na clorofila b, além de tornar lenta a atividade do fotossistema II (PSII). Os autores concluíram ser o Mg um nutriente vital para a biossíntese de clorofila e para a formação do cloroplasto.

Hermans et al. (2004), estudaram as características fisiológicas da deficiência de magnésio em beterraba. Constataram que, entre os distúrbios estão o acúmulo de sacarose nas lâminas foliares, a diminuição dos conteúdos de clorofilas a e b e a perda da atividade fotossintética, devido a provável desequilíbrio no fotossistema I e no fotossistema II, pela perda de moléculas antena.

As enzimas chaves do cloroplasto são muito afetadas por pequenas variações nos níveis de magnésio no citosol dessa organela (Shaul, 2002). Análises iônicas de tilacóides e cloroplastos isolados indicaram ser o magnésio o cátion que se apresenta em maior concentração na superfície da membrana do tilacóide (Nakatani, 1979).

As concentrações de magnésio têm importante efeito regulador na atividade de enzimas do ciclo de Calvin (Pakrasi et al., 2001). Em adição a esse papel catalítico, o magnésio age como ativador alostérico de complexos de proteínas (Cowan, 2002).

Benner et al, (1988) e Schulze et al, (1989) verificaram que a deficiência de  $Mg^{2+}$  reduziu as taxas de assimilação  $CO_2$ . O aumento da coloração verde das árvores após fertilização com  $Mg^{2+}$  levou ao aumento na taxa de assimilação de  $CO_2$  (Beyschlag et al, 1987).

Embora o magnésio seja um nutriente diretamente relacionado com a atividade fotossintética poucos estudos são encontrados na literatura abordando tal questão.

A produtividade das plantas é determinada por vários fatores, como quantidade de folhas, capacidade fotossintética de cada uma e disponibilidade de nutrientes, sendo estes fatores importantes para o ganho de biomassa. Do mesmo modo como a nutrição mineral afeta a fotossíntese, a disponibilidade de fotossintatos regula o metabolismo e a absorção dos nutrientes minerais. Assim, maior biomassa pode ser obtida quando as condições do meio são favoráveis para o crescimento (Marenco et al, 2001).

Srivastava et al. (1998) estudaram a utilização e a concentração de substratos como a sacarose marcada com  $^{14}\text{C}$  em citronela (*Cymbopogon winterianus* Jowitt), sob deficiência de ferro e demonstraram diminuição na eficiência fotossintética dessas plantas. Tanto a concentração de fotossintatos marcados como a sua translocação na folha foi baixa em condições de deficiência do elemento, resultando em disponibilidade limitada desses fotossintatos para a biossíntese de óleo essencial. Segundo os mesmos autores, a correlação entre atividade fotossintética e rendimento de óleo essencial está no fato de que células fotossintetizantes localizadas ao lado de células produtoras de óleo são fornecedoras de precursores carbônicos para a formação desse óleo. Já, em *Mentha piperita* L., Srivastava & Luthra (1993) estudando também o comportamento da produção de óleo essencial por meio da avaliação de fotossintatos marcados com  $^{14}\text{C}$ , em condições de deficiência de Fe, encontraram resultados divergentes àqueles verificados para a citronela. A incorporação de fotossintatos marcados no óleo essencial foi maior em plantas cultivadas em deficiência de Fe.

Dixit & Srivastava (2002) ao avaliarem a influência da deficiência de B em *Curcuma longa* L, utilizando  $\text{CO}_2$  marcado com  $^{14}\text{C}$  observaram destinação dos fotossintatos para a formação do óleo, trocas gasosas e conteúdo de clorofila. As plantas submetidas à deficiência de B apresentaram menor quantidade dos fotossintatos, açúcares, aminoácidos e ácidos orgânicos, incorporados ao óleo. As trocas gasosas e o conteúdo de clorofila foram reduzidos com a deficiência de B. Essa redução, segundo os autores deve-se à redução da formação e translocação desses fotossintatos.

Estudo conduzido com espinafre demonstrou que a degradação do aparelho fotossintético induzida pela combinação da deficiência de magnésio e enxofre precedeu a perda permanente da atividade fotossintética (Godde & Dannehl, 1994).

Deve ser registrado que o magnésio apesar da sua importância como componente estrutural da clorofila e ativador de reações químicas do aparelho

fotossintético, é ainda pouco estudado entre os nutrientes inorgânicos, na fotossíntese, em especial na família Lamiaceae.

Apesar disso, com base nos poucos estudos encontrados na literatura, verifica-se correlação direta entre nutrição mineral, eficiência fotossintética e produção de óleo, que, no entanto, não foi identificada para as plantas aromáticas da família Lamiaceae.

A análise de crescimento pode ser muito útil na avaliação do comportamento vegetal sob diferentes condições ambientais. Do ponto de vista biológico, a análise de crescimento é indispensável para o melhor conhecimento das plantas como entidades biológicas, independente da exploração agrícola (Benincasa, 2003). A análise também se presta ao estudo das plantas do ponto de vista agrônomo. A autora afirma também que a análise de crescimento é realizada por meio da avaliação de índices fisiológicos, como razão de área foliar (RAF), área foliar específica (AFE), taxa assimilatória líquida (TAL), e taxa de crescimento relativo (TCR).

Tal estudo baseia-se no fato de que cerca de 90% da matéria seca acumulada pelas plantas, ao longo do crescimento, resulta de sua atividade fotossintética e o restante da absorção de nutrientes minerais, indispensáveis ao desenvolvimento vegetal. Essa análise, portanto, permite avaliar o crescimento final da planta como um todo e a contribuição de diferentes órgãos no crescimento total. A partir de dados de crescimento pode-se inferir a atividade fisiológica, isto é, estimar de forma bastante precisa as variações de crescimento entre as plantas geneticamente diferentes ou entre plantas crescendo em ambientes diferentes.

Dentre os estudos que avaliaram a influência da variação de nutrientes em índices fisiológicos indicativos de produtividade em *Mentha piperita* L., estão o de Leal (2001) que observou a diminuição da RAF, AFE, TAL e TCR quando as plantas foram submetidas à nível de nitrogênio igual a 315 mg L<sup>-1</sup>, acima daquele especificado para solução nutritiva de Hoagland & Arnon (1950), com conseqüente diminuição do rendimento de óleo e teor de mentol. David et al. (2006), observaram a redução da RAF, e tendência de maior produção de óleo e dos teores de mentona nas plantas submetidas ao maior nível de fósforo, igual a 46,5 mg L<sup>-1</sup> também superior àquele da solução completa. Valmorbidia et al. (2006) observaram que a RAF, AFE, TAL e TCR não foram influenciadas pelos níveis de potássio utilizados iguais a 234, 117 e 58,5 mg L<sup>-1</sup>. No entanto, nas plantas cultivadas com o menor nível de potássio o teor de mentol aumentou.

Bueno (2004) trabalhando com *Thymus vulgaris* L. em solução nutritiva nº 2 de Hoagland & Arnon (1950) com diferentes níveis de P, concluiu que o nível de P, igual a 46,5 mg L<sup>-1</sup>, acima daquele especificado para a solução completa aumentou a taxa de crescimento absoluto. De Fazio et al. (2005) cultivando plantas de hortelã *Mentha crispa* L., em solução nutritiva nº 1 de Hoagland & Arnon (1950), com redução do nível de cálcio de 200 mg L<sup>-1</sup> para 60 mg L<sup>-1</sup>, até 46 dias após o transplante e para 20 mg L<sup>-1</sup> a seguir (60/20) e para 30 mg L<sup>-1</sup>, observaram que as plantas cultivadas com 60/20 e 30 mg L<sup>-1</sup> se adaptaram a essa condição, apresentando produtividade semelhante às tratadas com 200 mg L<sup>-1</sup>, com discreta diminuição da TCA, TCR, RAF e AFE, o que sugere nível de cálcio super estimado na solução nutritiva completa de Hoagland & Arnon (1950).

Os estudos acima referidos indicam que o comportamento das espécies vegetais pode ser avaliado por meio de índices fisiológicos, quando diferentes nutrientes e suas diferentes doses são utilizadas.

**CAPÍTULO I**

**MAGNÉSIO NO DESENVOLVIMENTO E PRODUÇÃO DE ÓLEO  
ESSENCIAL DE *Mentha piperita* L. CULTIVADA EM SOLUÇÃO  
NUTRITIVA**

Artigo elaborado nas normas da Revista Brazilian Archives of Biology and Technology

## MAGNÉSIO NO DESENVOLVIMENTO E PRODUÇÃO DE ÓLEO ESSENCIAL DE *Mentha piperita* L. CULTIVADA EM SOLUÇÃO NUTRITIVA

Maria Cristina Prado Vasques<sup>1</sup>, Martha Maria Mischan<sup>2</sup>, Carmen Sílvia Fernandes Boaro<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Departamento de Botânica, Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, CP 510, 18618-000, Botucatu, SP, Brasil; <sup>2</sup>Departamento de Bioestatística, Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, 18618-000, Botucatu, SP, Brasil. Autor para correspondência: Carmen Sílvia Fernandes Boaro, e-mail: csfboaro@ibb.unesp.br

### ABSTRACT

Magnesium levels equal the 48,6, 24,3, 12,1 and 2,4 mg L<sup>-1</sup> had been evaluated in *Mentha piperita* L. development. Length of shoot, leaf area, dry matter of leaf blades, stems plus petioles, roots and total of the plants and their essential oil were influenced by the reduction of magnesium. However, these variable had presented resulted satisfactory when the plants had been cultivated with 24,3 mg L<sup>-1</sup> of magnesium and, therefore, with reduction of 50% of the nutrient. On the other hand, in a generalized manner, the reduction of the magnesium level for 12,1 damaged the development, and the essential oil yield, mainly from 77 days after transplanting. The level equal 2,4 mg L<sup>-1</sup> caused increase of these variable, except for leaf area and essential oil income from the 63 days after transplant. On the basis of the results extreme magnesium level can be suggested in the complete solution contends 48,6 mg L<sup>-1</sup>.

**Key words:** Lamiaceae, mint, exchange gas, mineral nutrition, macronutrient.

### INTRODUÇÃO

A *Mentha piperita* L., pertencente à família Lamiaceae e conhecida como hortelã, hortelã pimenta, menta, menta inglesa, hortelã-apimentada ou sândalo, é uma erva aromática anual ou perene, de mais ou menos 30 cm de altura e semi-ereta.

O crescente interesse pelos óleos essenciais manifestado pelas indústrias de cosméticos, alimentícia, e principalmente farmacêutica, vêm agregando valor econômico à espécie.

Plantas aromáticas desenvolvidas em hidroponia apresentaram maior produtividade em relação àquelas cultivadas de modo tradicional, acumulando de 3 a 6 vezes mais óleo essencial por área (Mairapetyan, 1999). Esta produtividade, resultado direto do processo fotossintético, depende, portanto, da nutrição mineral. Dentre os

nutrientes minerais, apesar do magnésio, um macronutriente, ser essencial para o crescimento e desenvolvimento vegetal, sua variação no cultivo hidropônico é ainda pouco estudada e não foi avaliada para a *Mentha piperita* L.

A essencialidade deste macronutriente se justifica por ativar o funcionamento de muitas enzimas, entre as quais, RNA polimerases, ATPases, proteína quinase, fosfatases, glutatona sintase e carboxilase. O magnésio está diretamente envolvido com a síntese de proteínas no vegetal, sendo requerido para a formação da RNA polimerase e apresentando função essencial na agregação das subunidades de ribossomos (Marchner, 1995), além de ser ativador alostérico de complexos de proteínas (Cowan, 2002). Suas concentrações têm importante efeito regulador na atividade de enzimas do Ciclo de Calvin (Pakrasi et al., 2001), ativando as enzimas rubisco, quinase de fosfoglicerato, frutose 1,6 bifosfatase, sedoheptulose 1,7 bifosfatase e fosforibuloquinase (Epstein & Bloom, 2006), além de apresentar-se como o átomo central da molécula de clorofila, onde exerce papel estrutural (Marchner, 1995).

Apesar de sua importância, o elemento é pouco estudado entre os nutrientes inorgânicos, em especial no desenvolvimento e rendimento de óleos essenciais de espécies da família Lamiaceae.

No entanto, alguns estudos foram realizados com o objetivo de avaliar os efeitos da nutrição mineral sobre a produção e a composição do óleo essencial de espécies da família Lamiaceae, com ênfase para a *Mentha piperita*, *Mentha spicata*, *Ocimum basilicum*, *Thymus vulgaris*, *Mentha crispa* e *Mentha arvensis*. Esses estudos, que não incluem o magnésio, avaliaram a influência das relações N: P: K (Mairapetyan, 1999), das variações dos níveis de N (Leal, 2001), P (David, 2006) e K (Valmorbida, 2006) e da relação  $\text{NO}_3^- : \text{NH}_4^+$ , no desenvolvimento e qualidade do óleo essencial da *Mentha piperita* L., do cálcio em *Mentha spicata* x *suaveolens* (Picchi et al., 2002), da diluição e concentração da solução nutritiva proposta por Furlani (1998) no desenvolvimento de *Ocimum basilicum* (Santos et al., 2000), da variação de P no desenvolvimento de *Thymus vulgaris* L. (Bueno et al., 2005), da variação de cálcio no desenvolvimento de *Mentha crispa* L. (Ferrari et al., 2005), da deficiência de zinco em *Mentha arvensis* (Misra, 1990) e da deficiência de Mn (Singh et al. 2001) no conteúdo de óleo essencial de três cultivares de *Mentha spicata* L.. Todos esses estudos demonstraram que as diferentes espécies apresentaram comportamentos variáveis em seu desenvolvimento e na produção de óleo essencial de acordo com os nutrientes

avaliados e com suas dosagens. No entanto, deve ser ressaltado, uma vez mais, que entre esses estudos nenhum avaliou o magnésio.

Dois estudos demonstraram que a síntese do óleo essencial depende de fotossintatos produzidos no metabolismo primário e que nutrientes minerais interferem no processo. Em *Mentha piperita* L., Srivastava & Luthra (1993) estudando o óleo essencial por meio da avaliação de fotossintatos marcados com  $^{14}\text{C}$  em condições de deficiência de ferro, constataram que a incorporação de fotossintatos marcados no óleo essencial foi maior em plantas cultivadas sob deficiência do elemento. No entanto, Srivastava et al. (1998), ao estudarem a utilização e a concentração de substratos como a sacarose, marcada com  $^{14}\text{C}$  em citronela (*Cymbopogon winterianus* Jowitt) em condições de deficiência de ferro demonstraram diminuição na eficiência fotossintética dessas plantas. Tanto a concentração de fotossintatos marcados, como a sua translocação na folha foi baixa sob a deficiência do elemento, resultando em sua disponibilidade limitada para a biossíntese de óleo essencial. Segundo os mesmos autores, a correlação entre atividade fotossintética e rendimento de óleo essencial está no fato de que células fotossintetizantes localizadas ao lado de células produtoras de óleo são fornecedoras de precursores carbônicos para a formação desse óleo essencial.

Dixit & Srivastava (2002) ao estudarem a influência da deficiência de B em *Curcuma longa* L, por meio de  $\text{CO}_2$  marcado com  $^{14}\text{C}$ , observaram a destinação dos fotossintatos para a formação do óleo. As plantas submetidas à deficiência de B apresentaram menor quantidade de fotossintatos como açúcares, aminoácidos e ácidos orgânicos, incorporados ao óleo. Deve ser registrada a inexistência de estudos na literatura consultada que avaliem a influência do magnésio no rendimento de óleo essencial de espécies da família Lamiaceae.

Com base no acima exposto e considerando a importância do magnésio no metabolismo vegetal, esse estudo objetivou avaliar o desenvolvimento e o rendimento de óleo essencial de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva, com variação dos níveis de magnésio.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

O experimento foi conduzido em casa de vegetação tipo Paddy-Fan com controle de temperatura, que foi mantida em  $26^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ , no período compreendido

entre maio e setembro de 2006, localizada no Departamento de Botânica, do Instituto de Biociências, UNESP, Botucatu, SP.

Estacas apicais de 10 cm, contendo apenas o primeiro par de folhas completamente expandidas, de *Mentha piperita* L. e obtidas de plantas matrizes, provenientes do canteiro de plantas medicinais do Departamento de Botânica, foram colocadas em bandejas de isopor contendo substrato comercial Plantmax® e mantidas em câmara de nebulização intermitente, até o enraizamento, que ocorreu após 14 dias. A seguir, as estacas enraizadas, ou seja, as mudas foram transferidas para vasos plásticos pintados externamente com purpurina prateada e arejados continuamente por meio da utilização de soprador rotativo, com solução nutritiva nº 2 de Hoagland & Arnon (1950) onde continuaram seu desenvolvimento. Dessa forma, as plantas foram cultivadas em quatro tratamentos designados T1 (testemunha) e constituído por solução completa, contendo 48,6 mg L<sup>-1</sup> de magnésio, T2, constituído pela mesma solução com variação de magnésio para 24,3 mg L<sup>-1</sup>, T3, mesma solução com 12,1 mg L<sup>-1</sup> de magnésio e T4, com solução com nível de magnésio igual a 2,4 mg L<sup>-1</sup>. O pH e a condutividade elétrica da solução nutritiva, controlados durante todo o experimento, foram mantidos em todos os tratamentos respectivamente entre 5,5 e 6,0 e entre 1,5 e 2,5 mS cm<sup>-1</sup> (Carmello, 1992).

Aos 21, 49, 63, 77 e 92 dias após o transplante das mudas para a solução nutritiva as plantas foram colhidas para avaliação de seu desenvolvimento, enquanto o rendimento de óleo essencial foi determinado aos 45, 60, 75, 90 e 105 dias após tal transplante.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com quatro repetições, em esquema fatorial 4 x 5, ou seja, quatro níveis de magnésio e cinco épocas de colheita, de modo a cobrir parte do ciclo do vegetal.

Em cada colheita, para avaliação do desenvolvimento da espécie, determinou-se o comprimento de parte aérea, em centímetros, definido como a distância do colo até o ápice da planta e a área foliar, em dm<sup>2</sup>, com o auxílio de integralizador de área foliar, modelo LI 3100 da Li-Cor. Após a determinação da área, as lâminas foliares, os caules mais pecíolos e as raízes foram acondicionadas em sacos de papel etiquetados e colocados em estufa de circulação forçada de ar a 60°C, até obtenção de matéria seca constante. Após a secagem, o material vegetal foi pesado em balança analítica Ohaus tipo Analytical Standard com sensibilidade de até 0,1 mg, determinando-se as matérias secas de lâminas foliares, caules mais pecíolos, raízes e total das plantas.

O óleo essencial que possui tensão de vapor mais elevada que a da água, sendo, por isso, arrastado pelo vapor d'água (Simões & Spitzer, 2000) foi extraído por hidrodestilação em aparelho do tipo Clevenger. Para a extração, 50 g de material fresco de parte aérea das plantas foram colocados em balão de fundo chato de 2000 mL, com água destilada até cobertura total da amostra, que em seguida foi aquecida. Após a destilação, o rendimento do óleo foi medido em  $50\text{g}^{-1}$  de matéria fresca de parte aérea.

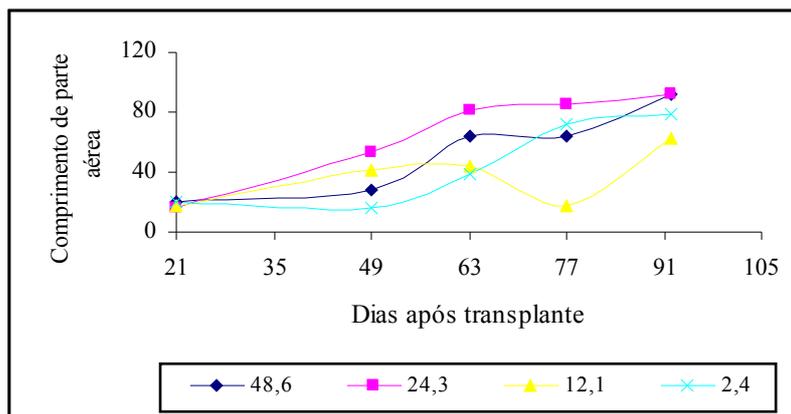
Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias de tratamentos com diferentes níveis de magnésio foram comparadas pelo teste Tukey, ao nível de 5% de significância. As colheitas foram avaliadas por análise de regressão.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

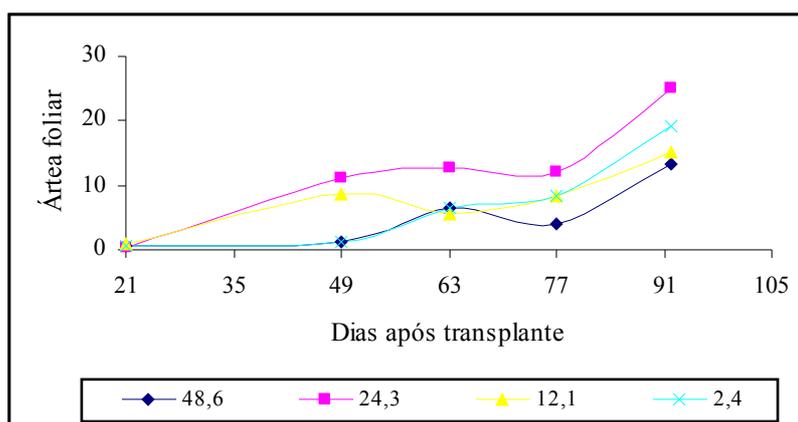
As plantas cultivadas com diferentes níveis de magnésio apresentaram comprimento de parte aérea, área foliar e as matérias secas de todos os órgãos e total das plantas com comportamentos diferentes (Figuras 1, 2, 3, 4, 5, 6).

É importante ressaltar que não há publicações que reportem a variação de magnésio em plantas medicinais. Já estudos que abordem a variação desse elemento em grandes culturas como, milho, feijão e arroz são pouco encontrados na literatura e às vezes foram utilizados na discussão de resultados obtidos no presente estudo.

As plantas submetidas a  $48,6\text{ mg L}^{-1}$  de magnésio apresentaram, de maneira geral, comprimento de parte aérea, área foliar, matéria seca de lâminas foliares, de caules mais pecíolos, de raízes e total iguais aos daquelas cultivadas com sua redução em 50% e igual a  $24,3\text{ mg L}^{-1}$  (Figuras 1, 2, 3, 4, 5 e 6). Segundo Clark (1975), o crescimento máximo depende da interação entre os nutrientes e o excesso de magnésio pode causar desequilíbrio com outros nutrientes. Estas considerações estão de acordo com Gama (1977), Lasa et al. (2000), Hermans et al. (2004), e Ding et al. (2006) que referem que a absorção dos nutrientes pelas plantas depende de diversos fatores, nos quais se incluem os efeitos antagônicos e sinérgicos entre os elementos, que variam em função, inclusive, das proporções entre eles. Considerando as interações entre nutrientes, Malavolta (1980) destaca, por exemplo, o efeito antagônico do magnésio com o cálcio e o potássio.



**Figura 1.** Comprimento de parte aérea, em cm, de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de magnésio, em mg L<sup>-1</sup>, nas várias colheitas. Valores médios ajustados pela equação exponencial cúbica.



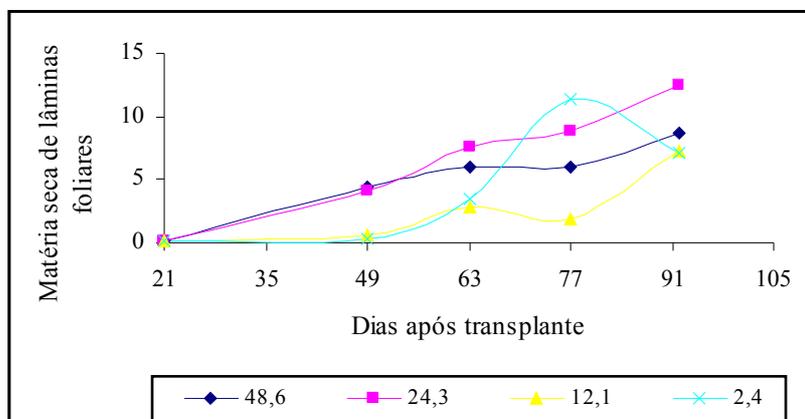
**Figura 2.** Área foliar, em dm<sup>2</sup>, de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de magnésio, em mg L<sup>-1</sup>, nas várias colheitas. Valores médios ajustados pela equação exponencial cúbica.

As plantas cultivadas com 12,1 mg L<sup>-1</sup> de magnésio apresentaram, de maneira geral, comprimento de parte aérea, área foliar, matéria seca de lâminas foliares, caules mais pecíolos, raízes e total menores que das plantas cultivadas com a solução completa, em especial aos 77 dias após transplante (Figuras 1, 2, 3, 4, 5 e 6). Esses resultados concordam com os observados por Ding et al. (2006), que ao estudarem a deficiência de magnésio em plantas de arroz (*Oriza sativa*) em solução nutritiva, contendo 1,0 mM de magnésio, observaram redução na matéria seca de parte aérea incluindo lâminas foliares,

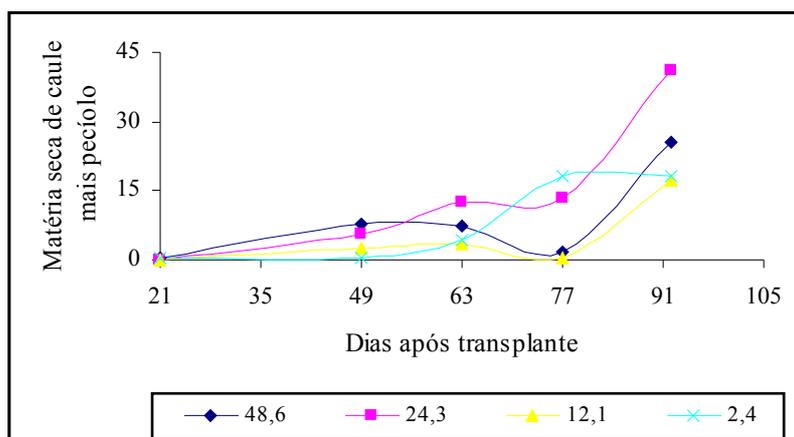
caules e pecíolos. Tal redução também foi observada por Hermans et al. (2004) e Hermans et al. (2005) ao cultivarem beterraba (*Beta vulgaris* L.) na ausência de magnésio na solução nutritiva. Os resultados do presente estudo concordam ainda com os observados por Camack (1994) e Fischer (1993), que ao estudarem feijão e espinafre, respectivamente, verificaram redução severa da matéria seca de raízes em plantas deficientes de magnésio. Deve ser ressaltado que apesar dos resultados concordantes os estudos tratam de espécies diferentes submetidas a dosagens diferentes de magnésio. No entanto, os resultados do presente estudo discordam dos de Ding et al. (2006) que não verificaram redução de matéria seca de raízes quando as plantas de arroz foram cultivadas com deficiência de magnésio. Portanto, para as plantas de *Mentha piperita* L. nas condições do presente estudo, a redução de parte aérea, que compreende lâminas foliares, caules e pecíolos, ocorreu simultaneamente à redução do seu sistema radicular. Como o magnésio apresenta importância em várias etapas da fotossíntese (Epstein & Bloom, 2006) sua redução deve ter influenciado o processo, diminuindo a produção de matéria seca do vegetal e a distribuição de matéria orgânica pela menta, interferindo também com a matéria seca de raízes.

As plantas cultivadas com 2,4 mg L<sup>-1</sup> de magnésio até os 49 dias após transplante apresentaram lento crescimento, que pode ser observado para todas as variáveis avaliadas, exceto para área foliar, que não diferiu da dos demais tratamentos. A partir dos 63 dias após transplante verifica-se aumento de crescimento e as plantas revelaram comprimento de parte aérea, área foliar, matéria seca de lâminas foliares, de caules mais pecíolos, de raízes e total das plantas inclusive mais elevados do que os das plantas cultivadas com solução completa, aos 77 dias após transplante (Figuras 1, 2, 3, 4, 5 e 6). Boaro (1996) ao estudar o comportamento de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*) submetidos à variação dos níveis de magnésio demonstrou que as plantas cultivadas com nível de 2,4 mg L<sup>-1</sup> de magnésio apresentaram maior matéria seca de lâminas foliares. Esse comportamento também verificado para as plantas de *Mentha piperita* L. encontra apoio na afirmação de Malavolta (1954) que citando Ciferri, refere que “o feijoeiro é capaz de executar todo o seu ciclo graças à reserva magnésiana da semente”. Nesse caso a quantidade de magnésio existente na planta jovem somada àquela adicionada e igual a 2,4 mg L<sup>-1</sup> seria suficiente para garantir o desenvolvimento do vegetal, apesar do atraso de ciclo verificado nessas plantas. Além disso, o aumento da matéria seca total, pode ser explicado pelo aumento de matéria seca de lâminas foliares, resultado concordante com as observações de Marschner (1995) que sugeriu, em

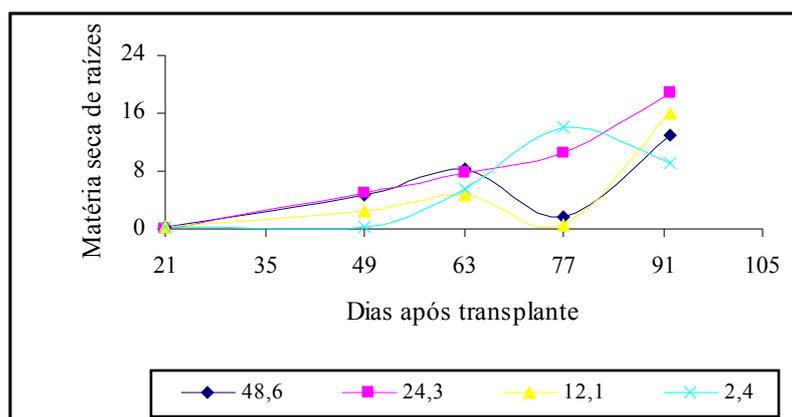
trabalho de revisão e atualização, que o aumento de matéria seca de folhas de plantas submetidas à deficiência de magnésio poderia ser causado pelo acúmulo de amido.



**Figura 3.** Matéria seca de lâminas foliares, em g, de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de magnésio, em mg L<sup>-1</sup>, nas várias colheitas. Valores médios ajustados pela equação exponencial cúbica.



**Figura 4.** Matéria seca de caules mais pecíolos, em g, de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de magnésio, em mg L<sup>-1</sup>, nas várias colheitas. Valores médios ajustados pela equação exponencial cúbica.

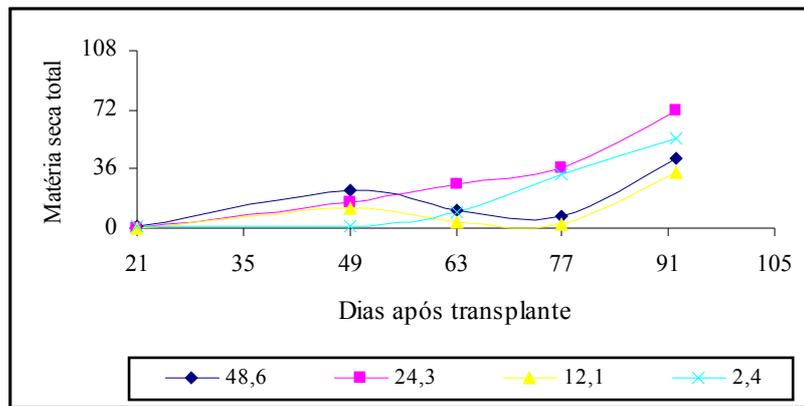


**Figura 5.** Matéria seca de raízes, em g, de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de magnésio, em mg L<sup>-1</sup>, nas várias colheitas. Valores médios ajustados pela equação exponencial cúbica.

A divergência verificada entre os resultados obtidos no presente estudo e os de outros autores (Fischer, 1993; Camack, 1994 e Ding et al., 2006) quanto à matéria seca de raízes de diferentes espécies, mediante uma situação de baixo nível ou ausência de magnésio confirma, entre outras observações, a dificuldade de se chegar às concentrações e proporções de sais na solução nutritiva satisfatórias para a espécie. Quando se altera a concentração do magnésio na solução nutritiva para menores níveis ou quando se omite tal elemento, com a interferência no crescimento, pode-se permitir absorção mais elevada de outros cátions, como por exemplo o potássio, e portanto, o efeito observado no vegetal pode não ser devido a falta do elemento avaliado, mas sim aumento de outros.

O maior comprimento de parte aérea, área foliar, matéria seca de lâminas foliares, de caules mais pecíolos, de raízes e matéria seca total das plantas cultivadas com 2,4 mg L<sup>-1</sup> de magnésio a partir dos 63 dias após transplante, talvez possam ser explicados com base em Epstein & Bloom (2006) que referem que quando o soluto preenche poucos sítios transportadores sua absorção aumenta quase que linearmente, levando-se em consideração que uma das formas de absorção de nutrientes se dá pela ligação do íon com sítios de transportadores de membrana. Já a tendência a redução de comprimento de parte aérea, área foliar, matéria seca de lâminas foliares, de caules mais pecíolos, de raízes e total das plantas verificada em plantas cultivadas com 48,6 mg L<sup>-1</sup>, também aos 77 dias após transplante, segundo os mesmos autores, talvez possa ser explicada de forma inversa considerando portanto, que quando a concentração de um

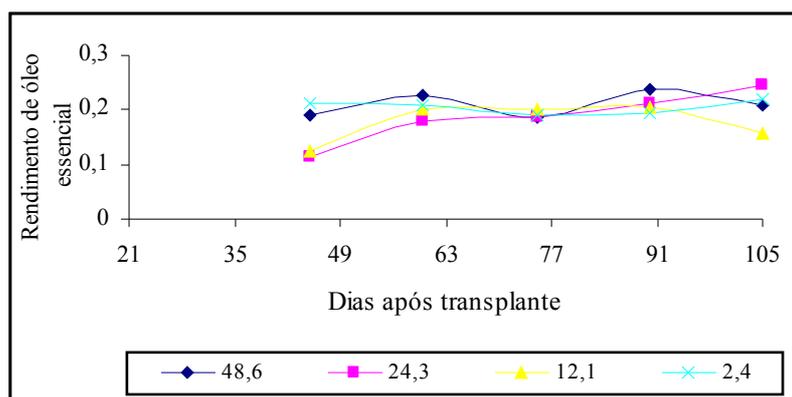
ion está na faixa superior a de outro, que seria um competidor, o declínio na taxa de absorção do primeiro deve-se a uma função gradual da concentração elevada do íon competidor.



**Figura 6.** Matéria seca total, em g, de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de magnésio, em mg L<sup>-1</sup>, nas várias colheitas. Valores médios ajustados pela equação exponencial cúbica.

Na figura 7 verifica-se a influência da variação dos níveis de magnésio também no rendimento de óleo essencial. Observa-se que o nível de magnésio que proporcionou maior rendimento de óleo essencial para as plantas de menta foi o de 24,3 mg L<sup>-1</sup>, aos 105 dias após transplante. As plantas cultivadas com esse nível de magnésio demonstraram tendência de aumento constante de rendimento de óleo essencial até os 105 dias após transplante. Esses resultados demonstram que a intensidade da biossíntese de óleos essenciais pode ser correlacionada com a otimização da nutrição mineral (Mairapetyan, 1999; Simões & Spitzer, 2000).

Como não foram encontrados estudos na literatura consultada com espécies da família Lamiaceae que correlacionem o rendimento de óleo essencial com a variação dos níveis de magnésio, a comparação dos resultados do presente trabalho fica prejudicada.



**Figura 7.** Rendimento de óleo essencial, em g 50 g<sup>-1</sup> de matéria fresca, de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de magnésio, em mg L<sup>-1</sup>, nas várias colheitas. Valores médios ajustados pela equação exponencial cúbica.

A época de colheita é outro fator que pode influenciar o rendimento de óleo essencial de espécies aromáticas. Aos 105 dias após transplante observou-se aumento no rendimento de óleo essencial das plantas de menta cultivadas com diferentes níveis de magnésio resultado concordante com os de Topalov & Zhelyakov (1991), que ao estudarem *Mentha piperita* L. verificaram maior rendimento de óleo essencial em plantas colhidas entre 97 e 100 dias após transplante.

A redução do nível de magnésio para 2,4 e 12,1 mg L<sup>-1</sup> além de não ter sido adequada para o desenvolvimento também, de maneira geral, não foi para rendimento de óleo essencial das plantas de *Mentha piperita* L. No entanto, na dependência da intenção econômica que se tenha, ou seja, comercialização de parte aérea ou de óleo essencial, níveis de magnésio diferentes podem ser utilizados para o cultivo da espécie, o que pode ser exemplificado por meio da observação do rendimento de óleo das plantas cultivadas com 2,4 mg L<sup>-1</sup> aos 45 dias após transplante, com tendência de ser maior. Apesar disso, como plantas desenvolvidas sob diferentes condições podem conter óleos com características diferentes, sugere-se a avaliação da composição química do óleo essencial para aferir sua qualidade e a seguir, assegurar-se do melhor nível de magnésio para o cultivo da espécie.

Por outro lado, as plantas cultivadas com solução completa e contendo 48,6 mg L<sup>-1</sup> de magnésio, ao contrário daquelas com 2,4 mg L<sup>-1</sup>, com rendimento de óleo bem constante, apresentaram comportamento cíclico, com picos aos 60 e 90 dias após

transplante, demonstrando, portanto, tendência de aumento do rendimento de óleo essencial nesses períodos.

A flutuação observada nas curvas de rendimento de óleo essencial nas plantas cultivadas com 48,6 e 2,4 mg L<sup>-1</sup> de magnésio, talvez possa ser correlacionada às situações de estresse, que levam a aumento de produção de óleo essencial pelas plantas (Taiz & Zeiger, 2004), tendo sido o maior nível excessivo e o menor, deficiente. Essa afirmativa concorda com as observações de Valmorbidia et al. (2006) que verificaram que a redução de potássio levou à variação da qualidade do óleo essencial de *Mentha piperita* L., com aumento do teor de mentol. Já David et al. (2006) demonstraram que aumento do nível de fósforo aumentou a produção de óleo e seu teor de mentona.

Os resultados demonstraram que 24,3 mg L<sup>-1</sup> de magnésio foram suficientes para garantir adequado desenvolvimento e rendimento de óleo essencial, quando as plantas foram comparadas com as cultivadas com 48,6 mg L<sup>-1</sup>, que se mostrou excessivo para a espécie.

## AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Lin Chau Ming, por disponibilizar o Laboratório de Plantas Mediciniais para a extração do óleo essencial.

## RESUMO

Os níveis de magnésio iguais a 48,6, 24,3, 12,1 e 2,4 mg L<sup>-1</sup> foram avaliados no desenvolvimento das plantas de *Mentha piperita* L. Comprimento de parte aérea, área foliar, matéria seca de lâminas foliares, de caules mais pecíolos, de raízes e total das plantas e seu óleo essencial foram influenciados pela redução do magnésio. No entanto, essas variáveis apresentaram resultados satisfatórios quando as plantas foram cultivadas com 24,3 mg L<sup>-1</sup> de magnésio e, portanto, com redução de 50% do nutriente. Por outro lado, de maneira geral, a redução de magnésio para 12,1 mg L<sup>-1</sup> prejudicou o desenvolvimento e o rendimento de óleo essencial, em especial aos 77 dias após transplante. O nível igual a 2,4 mg L<sup>-1</sup> aumentou todas essas variáveis, exceto a área foliar e o rendimento de óleo essencial a partir dos 63 dias após transplante. Com base

nos resultados pode-se sugerir nível excessivo de magnésio na solução completa contendo 48,6 mg L<sup>-1</sup>.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Boaro, C.S.F.; Rodrigues, F.D.; Pedras, J.F.; Rodrigues, S.D.; Delachiave, M.E.A.; Ono, E.O. (1996). Avaliação do crescimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Carioca) sob diferentes níveis de magnésio. Biotemas. v. 9, n. 2, pp. 15-28.

Bueno, M. A. S. (2004). Níveis de fósforo no desenvolvimento e produção de óleo essencial de *Thymus vulgaris* L. cultivado em solução nutritiva. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista, Brasil, 85pp.

Cakmak I, Hengeler C, Marschner H. (1994). Partitioning of shoot and root dry matter and carbohydrates in bean plants suffering from phosphorus, potassium and magnesium deficiency. Journal of Experimental Botany. v. 45, p. 1245-1250.

Cowan, J. A. (2002). Structural and catalytic chemistry of magnesium-dependent enzymes. Biometals. v. 15, pp.225–235.

David, E.F.S; Boaro, C.S.F; Marques, M.O.M. (2006). Rendimento e composição do óleo essencial de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes níveis de fósforo. Rev. Bras. Plantas Med. v.8, pp. 183-188.

Ding, Y.; Luo, W.; Xu, G. (2006). Characterisation of magnesium nutrition and interaction of magnesium and potassium in rice. Annals of Applied of Biology. v. 149, pp. 111-123.

Dixit, D. & Srivastava, N. K. (2002). Boron deficiency induced changes in translocation of <sup>14</sup>CO<sub>2</sub> – photosynthate into primary metabolites in relation to essential oil and curcumin accumulation in tumeric (*Curcuma longa* L.). Photosynthetica. v. 40, n.1, pp. 109-113.

Epstein, E. & Bloom, A. (2006). Metabolismo Mineral. *In*: Nutrição Mineral de Plantas: Princípios e Perspectiva. Editora Planta, Londrina, Brasil, pp.209-244.

Fischer E. S, Bremer E. (1993). Influence of magnesium deficiency on rates of leaf expansion, starch and sucrose accumulation and net assimilation in *Phaseolus vulgaris*. Physiology Plant. v. 89, pp. 271-276.

Furlani, P.R. (1998). Instruções para o cultivo de hortaliças de folhas pela técnica de hidroponia. Campinas: Instituto Agrônômico de Campinas, v. 168, pp. 1-30.

Hermans, C.; Johnson, R. J. S. & Verbruggen.(2004). Physiological characterization deficiency in sugar beet: acclimation to low magnesium differentially affects photosystems I and II. Planta v. 220, pp.344-355.

Hermans, C.; Bourgis, F.; Faucher, M.; Strasser, R. J.; Deiot, S.; Verbruggen, N. (2005). Magnesium deficiency in sugar beets alters sugar partitioning and phloem loading in young mature leaves. *Planta*. v. 220, pp.541-549.

Hoagland, D. R. & Arnon, D. I. The water: culture method for growing plants without soil. Berkeley: California Agricultural Experiment Station, 1950. 32p.

Larcher, W. *Ecofisiologia vegetal*. (Eds) RiMa, São Carlos, SP.: 2000. 531p.

Lasa, B.; Frechilla, M. A.; Gonzalez-Moro, B.; Lamsfus, C.; Aparicio-Tejo, P. M. (2000). Effects of low and high levels of magnesium on the response of sunflower plants grown with ammonium and nitrate. *Plant and Soil*. v. 225, p.167-174.

Leal, F.P. (2001). Desenvolvimento, produção e composição de óleo essencial da *Mentha piperita* L., cultivada em solução nutritiva com diferentes níveis de nitrogênio. Dissertação, Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, Botucatu

Mairapetyan, S.K. (1999), Aromatic plant culture in open – air hidroponics. *Acta Hortic.*, **502**, 33-36

Malavolta, E.; Chaves, I.; Tonin, G.S. and Souza, A.F. (1976), Deficiências de macronutrientes na soja (*Glycine max* L. Merril, var IAC-2). *An. Esc. Sup. Agric. “Luiz de Queiroz”*, **33**, 471-477.

Marschner, H. (1995). Mineral nutrition of higher plants. (Eds) Academic Press, London: pp. 209-312.

Pakrasi, H.; Ogawa, T.; Bhattacharrya-Pakrasi, M. (2001). Transport of metals: a key process in oxygenic photosynthesis. In: Aro E-M, Anderson B (eds) Regulation of photosynthesis. Kluwer, Dordrecht, pp 253–264.

Picchi, D.G.; Sacramento, L.V.S. and Almeida, A.C.S. (2002), Cultivo hidropônico de hortelã: Morfologia radicular em função de níveis de cálcio na solução nutritiva. In: Anais do 5º. Workshop de Plantas Mediciniais de Botucatu, Botucatu, São Paulo

Santos *et al.* Diferentes concentrações de solução nutritiva para a cultura de alfavaca (*Ocimum basilicum*) em sistema de cultivo hidropônico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 42., 2002, Uberlândia. Anais... Uberlândia: Sociedade de Olericultura do Brasil, 2002. 1 CD-ROM.

Simões, C.M.O.; Spitzer, V. (2000). Óleos voláteis. In: SIMÕES, C.M.O.; SCHENKEL, E.P.; GOSMAN, G. (Eds.). *Farmacognosia: da planta ao medicamento*. 2.ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul; Universidade Federal de Santa Catarina, pp. 394-412.

Singh, P.; Misra, A. & Srivastava, N. K. (2001). Influence of Mn deficiency on growth, chlorophyll content, physiology an essential monoterpene oil(s) in genotypes of spearmint (*Mentha spicata* L.). *Photosynthetica*. v. 39, n.3, p. 473-476.

Srivastava, N. K. & Luthra, R. (1993). The relation between primary and secondary metabolism in peppermint under Fe-stress. *Journal Essential Oil Research*. v. 5, pp.525-534.

Srivastava, N. K.; Misra, A. & Sharma, S. The substrate utilization and concentration of  $^{14}\text{C}$  photosynthates in citronella under Fe deficiency. *Photosynthetica*. v. 35, n. 3, p.391-398, 1998.

Taiz, L. and Zeiger, E. (2004), *Fisiologia Vegetal*. 3.ed. Artmed, Porto Alegre.

Topalov, V.; Zhelyazkov, V. (1991). Effect of harvesting on the yield of fresh material, essential oil, and planting material from *Mentha piperita* L. and *Mentha arvensis* L.. *Herba Hung.*, v. 50, pp. 60-67.

Valmorbida, J.; Boaro, C.S.F.; Marques, M.O.M.; Ferri, A.F. (2006). Rendimento e composição química de óleos essenciais de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva em diferentes concentrações de potássio. *Rev. Bras. Plantas Med.* v.8, pp. 56-61.

## **CAPÍTULO II**

### **ANÁLISE DE CRESCIMENTO E TROCAS GASOSAS EM *Mentha piperita* L. CULTIVADA EM SOLUÇÃO NUTRITIVA COM VARIAÇÃO DE MAGNÉSIO**

Artigo elaborado nas normas da Revista Brazilian Archives of Biology and Technology

## ANÁLISE DE CRESCIMENTO E TROCAS GASOSAS EM *Mentha piperita* L. CULTIVADA EM SOLUÇÃO NUTRITIVA COM VARIAÇÃO DE MAGNÉSIO

Maria Cristina Prado Vasques<sup>1</sup>, Martha Maria Mischan<sup>2</sup>, Carmen Sílvia Fernandes Boaro<sup>11</sup>.

<sup>1</sup>Departamento de Botânica, Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, CP 510, 18618-000, Botucatu, SP, Brasil; <sup>2</sup>Departamento de Bioestatística, Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, 18618-000, Botucatu, SP, Brasil. Autor para correspondência: Carmen Sílvia Fernandes Boaro, e-mail: csfboaro@ibb.unesp.br

### ABSTRACT

Magnesium levels equal 48,6, 24,3, 12.1 and 2,4 mg L<sup>-1</sup> were evaluated in *Mentha piperita* L development and photosynthesis. The physiological indices of the growth analysis, specific leaf area (SLA), leaf area ratio (LAR), relative growth rate (RGR) and net assimilation rate (NAR), and the exchange gas, net CO<sub>2</sub> assimilation (A), CO<sub>2</sub> internal concentration (Ci), stomatal conductance (gs) and transpiration (E) had been influenced by the reduction of the magnesium level. However, these variable had presented resulted satisfactory when the plants had been cultivated with 24,3 mg L<sup>-1</sup> of the nutrient and, therefore, with its reduction in 50%. The plants cultivated with 2,4 mg L<sup>-1</sup> had disclosed deficiency in the CO<sub>2</sub> setting, what it limited the exchange gas. On the basis of the results extreme magnesium level can be suggested in the complete solution contends 48,6 mg L<sup>-1</sup>.

**Key words:** Lamiaceae, mint, exchange gas, mineral nutrition, macronutrient.

### INTRODUÇÃO

A *Mentha piperita* L., pertencente à família Lamiaceae e conhecida como hortelã, hortelã pimenta, menta, menta inglesa, hortelã-apimentada ou sândalo, é uma erva aromática anual ou perene, de mais ou menos 30 cm de altura e semi-ereta.

O crescente interesse pelos óleos essenciais manifestado pelas indústrias de cosméticos, alimentícia, e principalmente farmacêutica, vêm agregando valor econômico à espécie.

Plantas aromáticas desenvolvidas em hidroponia apresentaram maior produtividade em relação àquelas cultivadas de modo tradicional, acumulando de 3 a 6 vezes mais óleo essencial por área (Mairapetyan, 1999). Esta produtividade, resultado direto do processo fotossintético, depende, portanto, da nutrição mineral. Dentre os nutrientes minerais, apesar do magnésio, um macronutriente, ser essencial para o

crescimento e desenvolvimento vegetal, sua variação no cultivo hidropônico é ainda pouco estudada e não foi avaliada para a *Mentha piperita* L.

O magnésio como átomo central da molécula de clorofila (Hinkle & Eisennenger, 1950 e Taiz & Zeiger, 2004) contém alguns elétrons frouxamente ligados. Quando os pigmentos do complexo antena recebem luz, transferem essa energia para o centro de reação, concentrando-a em quantidade suficiente para retirar elétron do magnésio para ser transferido para o fotossistema II. Esse elétron passa então, por uma série de carreadores e frequentemente reduzem o fotossistema.

A proporção do magnésio total ligado à clorofila depende do suprimento deste elemento para a planta, variando entre 6 e 25%. Nas folhas, os outros 5 a 10% estão ligados a pectatos nas paredes celulares, ou precipitados como sais solúveis de reserva no vacúolo como, por exemplo, fosfato e 60 a 90% são extraídos com água (Marchner, 1995). Nesses órgãos, a concentração de magnésio não ligada em estruturas orgânicas, mas, localizada em “pool metabólico”, no citoplasma e cloroplasto, é regulada e encontra-se na faixa de 2 a 10 mM (Leigh & Wyn Jones, 1986). O vacúolo é o principal “pool de armazenamento” de magnésio para a manutenção de sua homeostase no “pool metabólico”.

O teor de magnésio nos cloroplastos normais é elevado, como foi demonstrado por Stocking & Ongum (1962) e Larkum (1968). Epstein (1975) sugeriu que os plastídeos conteriam magnésio além da fração associada à clorofila. Tal fato, segundo o mesmo autor, poderia ser justificado pelas funções de conversão e conservação de energia, exercidas pelos cloroplastos e pelo fato de ser o magnésio o ativador mais comum das enzimas relacionadas com o metabolismo energético.

Nas células foliares, no mínimo 25% da proteína total estão localizadas nos cloroplastos. Isto explica porque a deficiência de magnésio afeta o tamanho, a estrutura e a função dos cloroplastos, incluindo a transferência de elétron no fotossistema II (McSwain et al., 1976). A redistribuição do magnésio das folhas maduras para as jovens ou outra região de crescimento ativo é intensificada nas plantas deficientes e assim, os sinais visuais são mais precoces ou mais intensos nas folhas maduras, completamente expandidas. Isto indica maiores taxas de degradação protéica, incluindo as proteínas estruturais dos tilacóides e explica porque nas plantas deficientes em magnésio os outros pigmentos fotossintéticos são, de modo freqüente afetados tal como a clorofila (Scott & Robson, 1990).

Barber (1976) observou que as variações nas concentrações de  $Mg^{+2}$  no estroma afetam o empilhamento de tilacóides e a eficiência da transferência de energia entre os fotossistema I e II. Hinkle & Eisenmenger (1950) demonstraram que a carência de magnésio causa diminuição do conteúdo de clorofila, xantofila e caroteno das folhas inferiores de diversas plantas.

Cobra e Netto et al (1971) observaram alterações na coloração dos cloroplastos, que se apresentaram cloróticos e fragmentados, verificando-se ainda, nos mais esbranquiçados, a presença de amido, com desorganização dos tecidos na área dos sinais de carência. Balakrishnan et al. (2000) demonstraram a influência da deficiência de  $Mg^{+2}$  na composição de pigmentos e na fotossíntese de cultivares das frutas tropicais, manga, laranja e sapoti e verificaram redução de 48% da clorofila total (clorofilas a e b) em manga. A deficiência de  $Mg^{+2}$  resultou também em aumento da relação clorofila a/clorofila b devido a decréscimo na clorofila b, além de tornar lenta a atividade do fotossistema II (PSII). Os autores concluíram ser o  $Mg^{+2}$  um nutriente vital para a biossíntese de clorofila e para a formação do cloroplasto.

Hermans et al. (2004), estudaram as características fisiológicas da deficiência de magnésio em beterraba. Constataram que, entre os distúrbios se encontram acúmulo de sacarose nas lâminas foliares, diminuição dos conteúdos de clorofilas a e b e menor atividade fotossintética, devido a provável desequilíbrio no fotossistema I e no fotossistema II, pela perda de moléculas antena.

As enzimas chaves do cloroplasto são muito afetadas por pequenas variações nos níveis de magnésio no citosol dessa organela (Shaul, 2002). Análises iônicas de tilacóides e cloroplastos isolados indicaram ser o magnésio o cátion que se apresenta em maior concentração na superfície da membrana do tilacóide (Nakatani, 1979).

As concentrações de magnésio têm importante efeito regulador na atividade de enzimas do ciclo de Calvin (Pakrasi et al., 2001). Em adição a este papel catalítico, o magnésio age como ativador alostérico de complexos de proteínas (Cowan, 2002).

Benner et al. (1988) e Schulze et al. (1989) verificaram que a deficiência de  $Mg^{2+}$  reduziu as taxas de assimilação de  $CO_2$ . A maior coloração verde das árvores após fertilização com  $Mg^{2+}$  levou ao aumento na taxa de assimilação de  $CO_2$  (Beyschlag et al., 1987).

Embora, o magnésio seja um nutriente diretamente relacionado com a atividade fotossintética, poucos estudos são encontrados na literatura abordando tal questão.

A produtividade das plantas é determinada por vários fatores, incluindo a quantidade de folhas, a capacidade fotossintética de cada uma e a disponibilidade de nutrientes, sendo estes fatores importantes para o ganho de matéria orgânica. Do mesmo modo como a nutrição mineral afeta a fotossíntese, a disponibilidade de fotossintatos regula o metabolismo e a absorção dos nutrientes minerais. Assim, maior matéria orgânica pode ser obtida quando as condições do meio são favoráveis para o crescimento (Marenco et al., 2001).

Independente das dificuldades inerentes ao conhecimento da complexidade que envolve o crescimento das plantas, a análise de crescimento ainda é o meio mais acessível e bastante preciso para avaliá-lo e inferir a contribuição de diferentes processos fisiológicos sobre o comportamento vegetal (Causton & Venus, 1981; Magalhães, 1986).

A análise de crescimento pode ser útil no estudo do comportamento vegetal sob diferentes condições ambientais. Do ponto de vista biológico, a análise de crescimento é indispensável para o melhor conhecimento das plantas como entidades biológicas, independente da exploração agrícola (Benincasa, 2003). Essa mesma autora afirma que a análise de crescimento é realizada por meio da avaliação de índices fisiológicos e entre eles da razão de área foliar (RAF), área foliar específica (AFE), taxa assimilatória líquida (TAL), e taxa de crescimento relativo (TCR).

Dentre os estudos que avaliaram a influência da variação de nutrientes em índices fisiológicos indicativos de produtividade de *Mentha piperita* L. encontra-se o de Leal (2001) que observou a diminuição da RAF, AFE, TAL e TCR quando as plantas foram submetidas ao nível de nitrogênio igual a 315 mg L<sup>-1</sup>, acima daquele especificado para solução nutritiva de Hoagland & Arnon (1950), com conseqüente diminuição do rendimento de óleo e teor de mentol. David et al. (2006), observaram a redução da RAF e tendência de maior produção de óleo e dos teores de mentona nas plantas submetidas ao maior nível de fósforo, igual a 46,5 mg L<sup>-1</sup> também superior àquele da solução completa. Valmorbidia et al. (2006) observaram que a RAF, AFE, TAL e TCR não foram influenciadas pelos níveis de potássio utilizados iguais a 234, 117 e 58,5 mg L<sup>-1</sup>. No entanto, nas plantas cultivadas com o menor nível de potássio o teor de mentol aumentou.

Bueno (2004) trabalhando com *Thymus vulgaris* L. em solução nutritiva nº 2 de Hoagland & Arnon (1950), com diferentes concentrações de P concluiu que o nível igual a 46,5 mg L<sup>-1</sup>, acima daquele especificado para a solução completa aumentou a

taxa de crescimento absoluto. De Fazio et al. (2005) cultivando plantas de hortelã (*Mentha crispa* L.), em solução nutritiva nº 1 de Hoagland & Arnon (1950), com redução do nível de cálcio de 200 mg L<sup>-1</sup> para 60 mg L<sup>-1</sup>, até 46 dias após o transplante e para 20 mg L<sup>-1</sup> a seguir (60/20) e para 30 mg L<sup>-1</sup>, observaram que as plantas cultivadas com 60/20 e 30 mg L<sup>-1</sup> se adaptaram a essa condição, apresentando produtividade semelhante àquelas tratadas com 200 mg L<sup>-1</sup>, com discreta diminuição da TCA, TCR, RAF e AFE, o que sugere nível de cálcio super estimado na solução nutritiva completa de Hoagland & Arnon (1950).

Os estudos acima referidos indicam que o comportamento das espécies vegetais pode ser avaliado por meio de índices fisiológicos, quando diferentes nutrientes e suas diferentes doses são utilizadas.

Com base no acima exposto e considerando a importância do magnésio no metabolismo vegetal, esse estudo objetivou avaliar os índices fisiológicos indicativos de produtividade e as trocas gasosas de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva, com variação dos níveis de magnésio.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi conduzido, em casa de vegetação localizada no Departamento de Botânica, do Instituto de Biociências, UNESP, Botucatu, SP, tipo Paddy-Fan com controle de temperatura, que foi mantida em 26°C ± 2°C, no período compreendido entre maio e setembro de 2006.

Estacas apicais de 10 cm, contendo apenas o primeiro par de folhas completamente expandidas de *Mentha piperita* L. obtidas de plantas matrizes, provenientes do canteiro de plantas medicinais do Departamento de Botânica, foram colocadas em bandejas de isopor contendo substrato comercial Plantmax® e mantidas em câmara de nebulização intermitente, até o enraizamento, que ocorreu após 14 dias. A seguir, as mudas foram transferidas para vasos plásticos pintados externamente com purpurina prateada e arejados continuamente por meio da utilização de soprador rotativo, com solução nutritiva nº 2 de Hoagland & Arnon (1950). Dessa forma, as plantas foram cultivadas em quatro tratamentos designados T1 (testemunha) e constituído por solução completa, contendo 48,6 mg L<sup>-1</sup> de magnésio, T2, constituído pela mesma solução com variação de magnésio para 24,3 mg L<sup>-1</sup>, T3, mesma solução com 12,1 mg L<sup>-1</sup> de magnésio e T4, com solução contendo 2,4 mg L<sup>-1</sup>. O pH e a

condutividade elétrica da solução nutritiva, controlados durante todo o experimento, foram mantidos em todos os tratamentos respectivamente entre 5,5 e 6,0 e 1,5 e 2,5 mS  $\text{cm}^{-1}$  (Carmello,1992).

Os índices fisiológicos da análise de crescimento das plantas submetidas aos diferentes tratamentos foram determinados aos 21, 49, 63, 77 e 92 dias após transplante das mudas para a solução nutritiva, enquanto as trocas gasosas foram avaliadas aos 9, 34, 90 e 109 dias após tal transplante.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com quatro repetições, em esquema fatorial 4 x 5, ou seja, quatro níveis de magnésio e cinco épocas de colheita, de modo a cobrir parte do ciclo do vegetal.

Em cada colheita, determinou-se a área foliar, em  $\text{dm}^2$ , com o auxílio de integralizador de área foliar, modelo LI 3100 da Li-Cor. A seguir, as lâminas foliares, os caules mais pecíolos e as raízes foram separados e acondicionados em sacos de papel etiquetados e colocados em estufa de circulação forçada de ar a  $60^\circ\text{C}$ , até obtenção de matéria seca constante. Após a secagem, o material vegetal foi pesado em balança analítica Ohaus tipo Analytical Standard com sensibilidade de até 0,1 mg, determinando-se as matérias secas de lâminas foliares, caules mais pecíolos, raízes e total das plantas.

As variáveis, área foliar e matéria seca de lâminas foliares e matéria seca total das plantas foram ajustadas em relação ao tempo, ou seja, idade das plantas, para se proceder à estimativa dos índices fisiológicos razão de área foliar (RAF), área foliar específica (AFE), taxa assimilatória líquida (TAL) e taxa de crescimento relativo (TCR), pelo programa computacional ANACRES, de acordo com as especificações de Portes & Castro Junior (1991). Entre as opções de ajuste dos dados de matéria seca e área foliar, em função de dias após emergência, apresentadas pelo programa, escolheu-se a exponencial cúbica. Esta escolha se baseou nas recomendações dos autores que referem que para as espécies de ciclo curto essa equação têm sido adequada, pois se ajusta aos conjuntos dos referidos dados, representando bem o crescimento dessa espécie. Dessa forma, as curvas de matéria seca total e de lâminas foliares e área foliar, das plantas submetidas aos diferentes tratamentos, em função do tempo, foram ajustadas considerando-se a versão  $\ln y = a + bt + ct^2 + dt^3$ , para matéria seca  $>0$ , segundo as equações:

$$MS(y) = a \cdot e^{(bt + ct^2 + dt^3)} \quad \text{e} \quad AF(y_1) = a_1 \cdot e^{(b_1t + c_1t^2 + d_1t^3)}$$

Os coeficientes foram estimados por análise de regressão, após transformação das equações para a forma logarítmica.

Assim, foram calculados os índices que se seguem.

#### Razão de área foliar (RAF)

A razão de área foliar expressa a área foliar útil para fotossíntese (BENINCASA, 2003) e foi obtida a partir dos valores instantâneos de área foliar (AF), área responsável pela interceptação de energia luminosa e CO<sub>2</sub>, e matéria seca total (MST), resultado da fotossíntese, segundo a equação:

$$\text{RAF}(\text{dm}^2/\text{g}) = \frac{\text{AF}}{\text{MST}}$$

#### Área foliar específica (AFE)

Este índice que reflete o inverso da espessura da folha (BENINCASA, 2003), foi obtido pela razão entre a área foliar (AF) e a matéria seca de folhas (MSF).

$$\text{AFE}(\text{dm}^2/\text{g}) = \frac{\text{AF}}{\text{MSF}}$$

#### Taxa assimilatória líquida (TAL)

A taxa assimilatória líquida que expressa a taxa de fotossíntese líquida, em termos de matéria seca produzida, em gramas, por decímetro quadrado de área foliar, por unidade de tempo (Benincasa, 2003), foi obtida pela equação:

$$\text{TAL} (\text{g}/\text{dm}^2 \times \text{dia}) = \frac{(b + 2ct + 3dt^2) \cdot a \cdot e^{(bt+ct^2+dt^3)}}{a_1 \cdot e^{(b_1+c_1t^2+d_1t^3)}}$$

#### Taxa de crescimento relativo (TCR)

A taxa de crescimento de uma planta ou de qualquer órgão da planta é uma função do tamanho inicial, isto é, o aumento em gramas, no caso de matéria seca, está relacionado ao peso de matéria seca no instante em que se inicia o período de observação (BENINCASA, 2003). Este índice foi calculado pela equação:

$$\text{TCR (g/g x dia)} = d \ln \frac{a \cdot e^{(bt+ct^2+dt^3)}}{dt}$$

As medidas de trocas gasosas foram sempre efetuadas na região mediana de folhas bem desenvolvidas, totalmente expostas à luz solar e com o limbo foliar completamente expandido, entre 8:00 e 12:00 horas. Ao acaso, foram avaliadas seis folhas e cada uma permaneceu em equilíbrio dentro da câmara de um analisador portátil de fotossíntese, com sistema aberto modelo, IRGA 6400 da LI-COR (USA), durante 10 a 15 minutos, antes do registro das variáveis, taxa de assimilação líquida de CO<sub>2</sub> nas folhas (*A*), determinada em μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> e indicativa da quantidade líquida de CO<sub>2</sub> assimilado, por unidade de área foliar e por unidade de tempo, taxa de transpiração nas folhas (*E*) em μmol de H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> e indicativa da quantidade de vapor d'água transpirada por unidade de área foliar por unidade de tempo e condutância estomática nas folhas (*gs*), em mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, indicativo da abertura estomática.

As variáveis, área foliar, matéria seca de lâminas foliares, matéria seca total das plantas e as medidas de trocas gasosas foram submetidas à análise de variância e as médias de tratamentos com diferentes níveis de magnésio foram comparadas pelo teste Tukey, ao nível de 5% de significância. As épocas de colheitas ou das determinações realizadas foram avaliadas por análise de regressão.

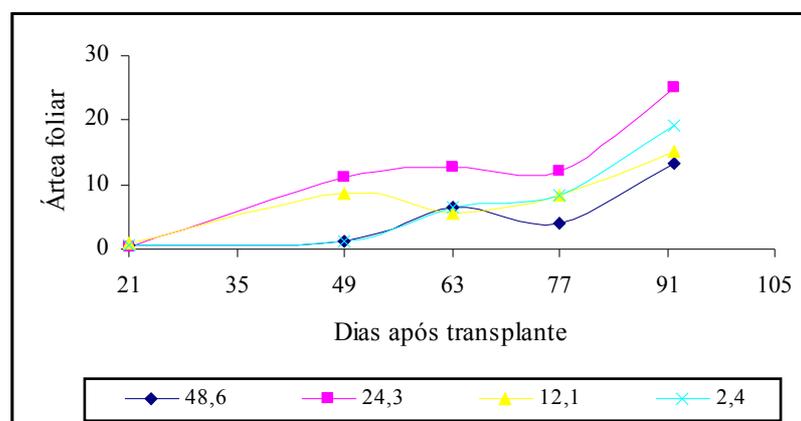
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A área foliar, matéria seca de lâminas foliares e matéria seca total das plantas de menta cultivadas com diferentes níveis de magnésio apresentaram comportamentos semelhantes ao longo do ciclo (Figuras 1, 2 e 3), embora com valores diferentes.

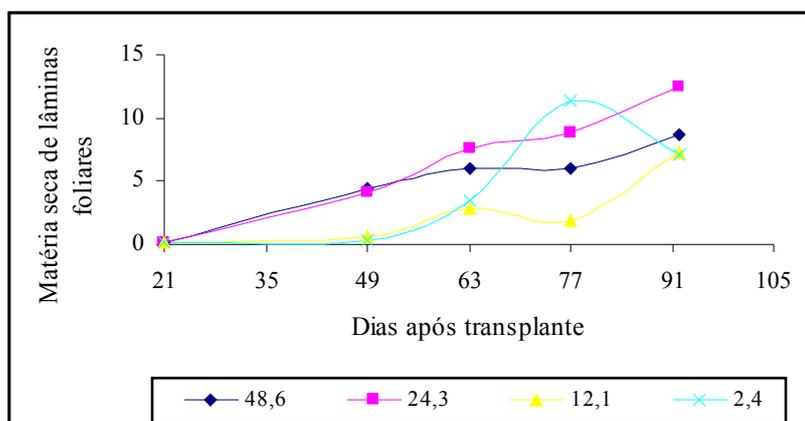
A área foliar das plantas cultivadas com 24,3 mg L<sup>-1</sup> de magnésio não diferiu daquela das plantas com 48,6 mg L<sup>-1</sup>. No entanto, essas plantas revelaram maior matéria seca de lâminas foliares e matéria seca total, aos 92 dias após transplante. Esses resultados demonstram que a redução do nível de magnésio na solução nutritiva em 50% ainda proporcionou às plantas de menta quantidade suficiente desse nutriente para seu desenvolvimento.

O menor nível de magnésio, igual a 2,4 mg L<sup>-1</sup> e correspondente à redução de 95% desse nutriente na solução resultou em plantas com crescimento mais lento conforme revelam os resultados de área foliar, matéria seca de lâminas foliares e matéria

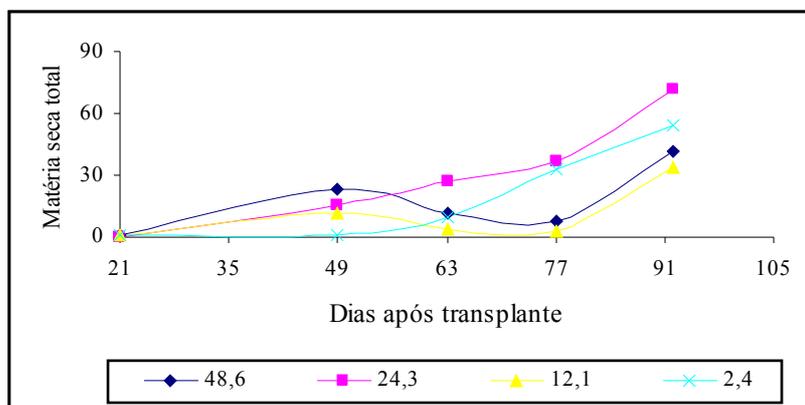
seca total das plantas (Figuras 1, 2 e 3) até os 49 dias após transplante, comportamento indicativo de provável atraso no ciclo dessas plantas. A partir dos 63 dias após transplante elas apresentaram aumento dessas variáveis. As maiores matérias secas verificadas nessas plantas concordam com os resultados de Hermans et al. (2004), que estudaram as características fisiológicas da deficiência de magnésio em beterraba e constataram que entre os distúrbios causados por essa deficiência está o acúmulo de sacarose nas lâminas foliares, responsável pelo aumento em matéria seca das folhas. Apesar do autor referir acúmulo de sacarose, Marschner (1995) sugeriu, em trabalho de revisão e atualização, que o aumento de matéria seca de folhas de plantas submetidas à deficiência de magnésio poderia ser causado pelo acúmulo de amido. Esses resultados também concordam com os de Boaro (1996) ao estudar o comportamento de feijoeiros (*Phaseolus vulgaris*) submetidos à variação dos níveis de magnésio, demonstrando que as plantas cultivadas com o nível de  $2,4 \text{ mg L}^{-1}$  de magnésio apresentaram os maiores valores para a matéria seca de folhas. Outra abordagem para a questão é que apesar dessas plantas serem cultivadas em solução contendo apenas 5% do magnésio estabelecido para a solução nutritiva completa nº 2 de Hoagland & Arnon (1950) esse comportamento para as plantas de *Mentha piperita* L. também encontra apoio na afirmação de Malavolta (1954) que, citando Ciferri, refere que “o feijoeiro é capaz de executar todo o seu ciclo de vida graças à reserva magnésiana da semente”.



**Figura 1.** Área foliar, em  $\text{dm}^2$ , de *Mentha piperita* L., cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de magnésio, em  $\text{mg L}^{-1}$ , nas várias colheitas. Valores médios ajustados pela equação exponencial cúbica.



**Figura 2.** Matéria seca de lâminas foliares, em g, de *Mentha piperita* L., cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de magnésio, em  $\text{mg L}^{-1}$ , nas várias colheitas. Valores médios ajustados pela equação exponencial cúbica.

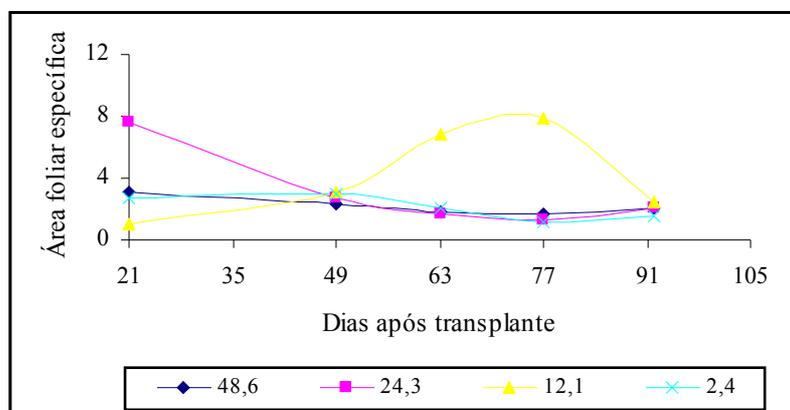


**Figura 3.** Matéria seca total, em g, de *Mentha piperita* L., cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de magnésio, em  $\text{mg L}^{-1}$ , nas várias colheitas. Valores médios ajustados pela equação exponencial cúbica.

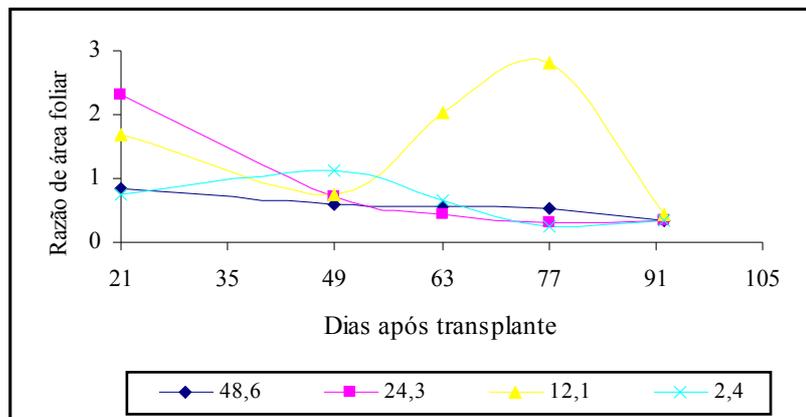
As plantas de menta cultivadas com diferentes níveis de magnésio apresentaram comportamento semelhante para área foliar específica (AFE) e razão de

área foliar (RAF) (Figuras 4 e 5), com redução dos dois índices ao longo do ciclo, discreta nas plantas cultivadas com 48,6 e 24,3 mg L<sup>-1</sup> de magnésio. Essa redução não foi observada para as plantas cultivadas com o nível de 12,1 mg L<sup>-1</sup> de magnésio, o que pode ter sido responsável pela menor produtividade dessas plantas, que apesar de não ser clara mediante a observação da taxa assimilatória líquida e da taxa de crescimento relativo (Figuras 6 e 7), o é quando se observa a assimilação líquida de CO<sub>2</sub> dessas plantas (Figura 8). As plantas cultivadas com o nível de magnésio igual a 24,3 mg L<sup>-1</sup> apresentaram a maior razão de área foliar (RAF) e área foliar específica (AFE), aos 21 dias após transplante. A razão de área foliar, área foliar útil para a fotossíntese, apresenta-se elevada no início do ciclo, período em que ocorre desenvolvimento de folhas para maior captação de luz, decrescendo a seguir, devido à interferência de folhas superiores sobre as inferiores, caracterizando auto-sombreamento (Benincasa, 2003), o que diminui a área foliar útil para a realização da fotossíntese. A área foliar específica (AFE), no início do desenvolvimento, pode revelar-se maior, com folhas pouco espessas, e, portanto, com pequena matéria seca e área foliar. Com o desenvolvimento da cultura aumenta a área foliar e a massa seca das folhas, tendendo a queda dos valores dessa variável (Benincasa, 2003).

No presente estudo, no início do desenvolvimento, aos 21 dias após transplante, as plantas cultivadas com 48,6, 12,1 e 2,4 mg L<sup>-1</sup> de magnésio apresentaram menores razão de área foliar (RAF) e área foliar específica (AFE) comparadas àquelas cultivadas com 24,3 mg L<sup>-1</sup> desse nutriente. Esses resultados para as plantas cultivadas com 24,3 mg L<sup>-1</sup> de magnésio talvez tenham contribuído para sua melhor produtividade.



**Figura 4.** Área foliar específica, em  $\text{dm}^2 \text{g}^{-1}$ , de *Mentha piperita* L., cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de magnésio, em  $\text{mg L}^{-1}$ , nas várias colheitas. Valores médios ajustados pela equação exponencial cúbica.



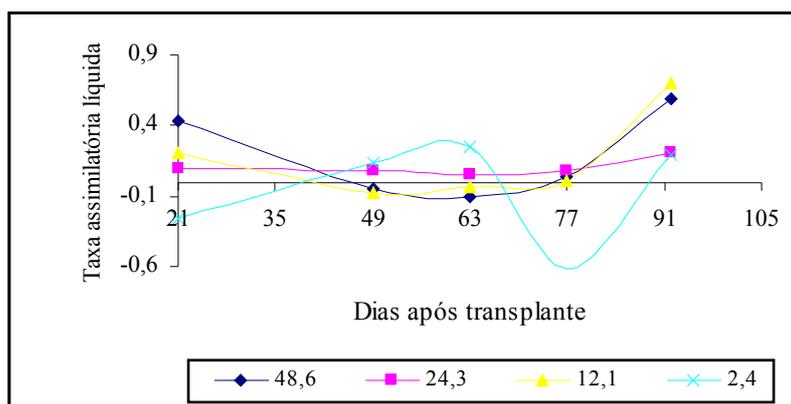
**Figura 5.** Razão de área foliar, em  $\text{dm}^2 \text{g}^{-1}$ , de *Mentha piperita* L., cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de magnésio, em  $\text{mg L}^{-1}$ , nas várias colheitas. Valores médios ajustados pela equação exponencial cúbica.

A taxa assimilatória líquida (TAL) e a taxa de crescimento relativo (TCR) das plantas de menta cultivadas em diferentes níveis de magnésio também apresentaram comportamentos semelhantes (Figuras 6 e 7). As plantas cultivadas com o nível completo, 48,6 e com 12,1  $\text{mg L}^{-1}$  de magnésio apresentaram elevado crescimento até os 49 dias após transplante, indicado pela queda da curva dessas taxas. Já para as plantas tratadas com a redução de 50% do nutriente, 24,3  $\text{mg L}^{-1}$  verifica-se menor queda e menor crescimento, que, no entanto, se manteve durante todo o ciclo avaliado.

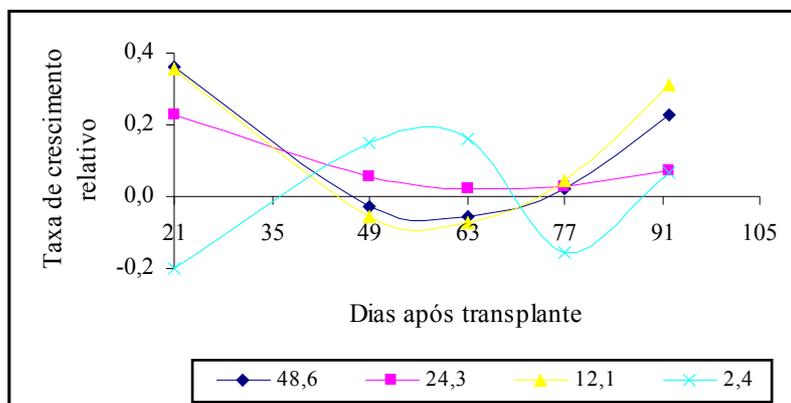
A partir dos 77 dias após transplante as plantas cultivadas com os diferentes níveis de magnésio apresentaram rebrota, o que pode ser observado nas figuras 6 e 7, com o aumento da taxa de crescimento relativo e da taxa assimilatória líquida. Apesar de ter sido realizada toda a profilaxia pertinente, o ataque de pulgões e ácaros, devido às temperaturas mais elevadas no período e que foram favoráveis para seu desenvolvimento, também foi responsável por tal rebrota.

As plantas cultivadas com o nível de 48,6  $\text{mg L}^{-1}$  de magnésio apresentaram maior taxa assimilatória líquida no início de seu desenvolvimento, aos 21 dias após transplante. Essa taxa, que expressa a fotossíntese líquida, revelou-se menos variável

para as plantas cultivadas com o nível de magnésio igual a 24,3 mg L<sup>-1</sup>, garantindo a elas melhor produtividade do que para as plantas tratadas com o nível completo de magnésio, igual a 48,6 mg L<sup>-1</sup>, que a partir dos 63 dias após transplante diminuíram sua produtividade, conforme indicado pelas curvas ascendentes da taxa assimilatória líquida e taxa de crescimento relativo (Figuras 6 e 7) a partir desse ponto.



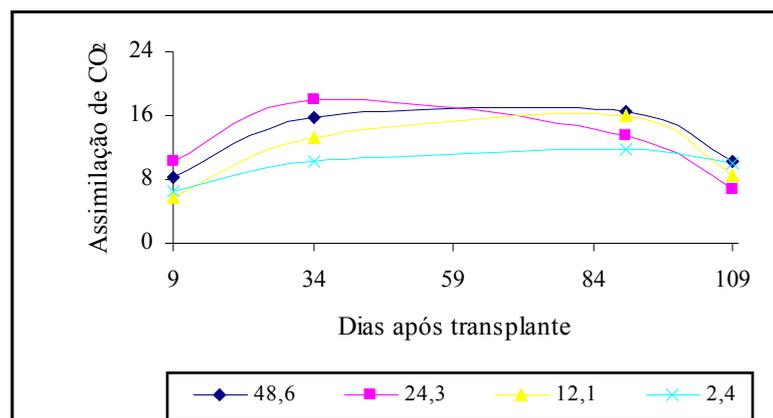
**Figura 6.** Taxa assimilatória líquida, em g dm<sup>-2</sup>dia<sup>-1</sup>, de *Mentha piperita* L., cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de magnésio, em mg L<sup>-1</sup>, nas várias colheitas. Valores médios ajustados pela equação exponencial cúbica.



**Figura 7.** Taxa de crescimento relativo, em g g<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>, de *Mentha piperita* L., cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de magnésio, em mg L<sup>-1</sup>, nas várias colheitas. Valores médios ajustados pela equação exponencial cúbica.

As plantas de *Mentha piperita* L. cultivadas com os níveis de 24, 3 e 48,6 mg L<sup>-1</sup> de magnésio apresentaram as maiores taxas de assimilação líquida de CO<sub>2</sub> entre 9 e

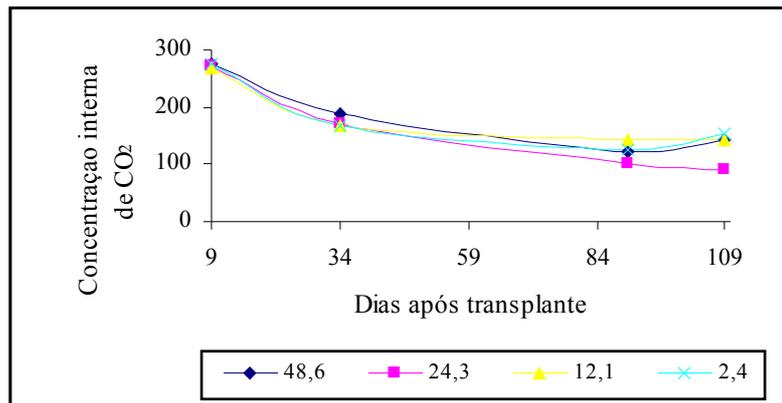
34 dias após transplante, que, no entanto, não diferiram entre si (Figura 8). Dos 90 aos 109 dias após transplante as plantas cultivadas com nível de  $24,3 \text{ mg L}^{-1}$  de magnésio apesar de apresentarem tendência de redução nessas taxas, elas não diferiram das taxas observadas para as plantas cultivadas com  $48,6 \text{ mg L}^{-1}$  de magnésio. Esses resultados talvez possam ser discutidos com base nas observações de Ruiz (1997), que refere concentrações de macronutrientes superestimadas nas soluções nutritivas. Assim, no presente estudo, o nível de magnésio igual a  $48,6 \text{ mg L}^{-1}$ , especificado por Hoagland & Arnon (1950) para a solução nutritiva completa, seria excessivo para a assimilação de  $\text{CO}_2$ , observada na mesma intensidade para as plantas cultivadas com a metade desse nível, ou seja,  $24,3 \text{ mg L}^{-1}$ . Uma vez que não foram identificados estudos na literatura consultada, que avaliem trocas gasosas em espécies do gênero *Mentha* ou em outras espécies de Lamiaceae, cultivadas com variação de magnésio, a comparação dos resultados fica prejudicada.



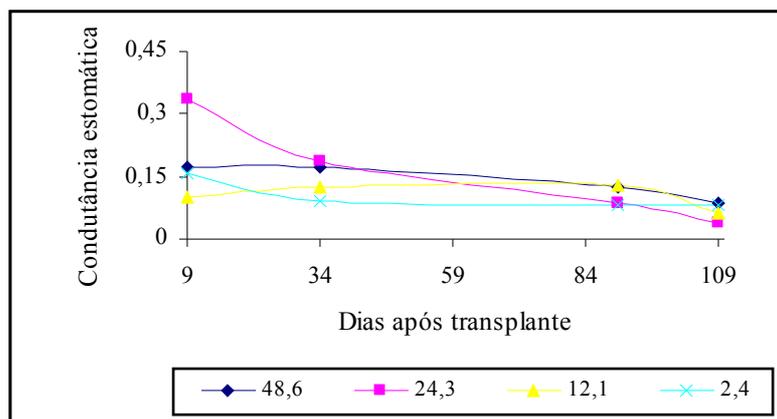
**Figura 8.** Taxa de assimilação líquida de  $\text{CO}_2$ , em  $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de magnésio, em  $\text{mg L}^{-1}$ , nas diferentes colheitas. Valores médios ajustados pela equação exponencial quadrática.

As concentrações internas de  $\text{CO}_2$  não diferiram nas plantas cultivadas com os diferentes níveis de magnésio, exceto aos 109 dias após transplante, época em que esta concentração foi menor nas plantas cultivadas com  $24,3 \text{ mg L}^{-1}$  de magnésio, o que pode explicar a menor assimilação líquida de  $\text{CO}_2$  nesse momento (Figura 9). Nessas mesmas plantas, a condutância estomática, maior aos 9 dias após transplante, decresceu até os 109 dias, que coincidiu com o início da senescência dessas plantas. Assim, aos 109 dias após transplante, a menor condutância explica a menor concentração interna e menor

assimilação líquida de  $\text{CO}_2$ , nas plantas cultivadas com 50% da concentração de magnésio na solução nutritiva de Hoagland & Arnon (1950). Deve também ser registrado que as plantas cultivadas com os demais níveis de magnésio apresentaram condutância mais constante.



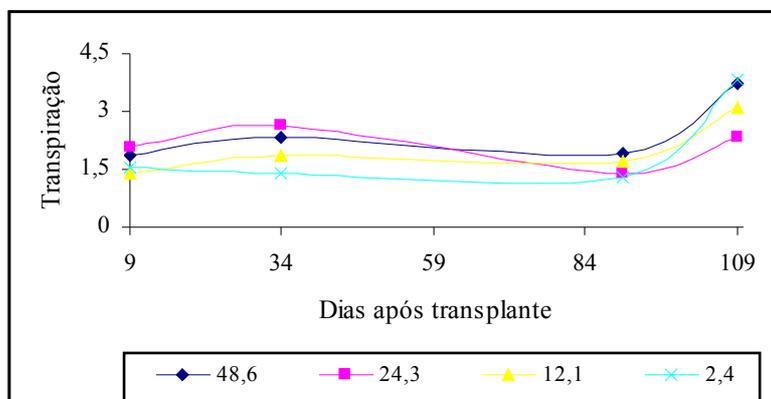
**Figura 9.** Concentração interna de  $\text{CO}_2$ , em  $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de magnésio, em  $\text{mg L}^{-1}$ , nas diferentes colheitas. Valores médios ajustados pela equação exponencial quadrática.



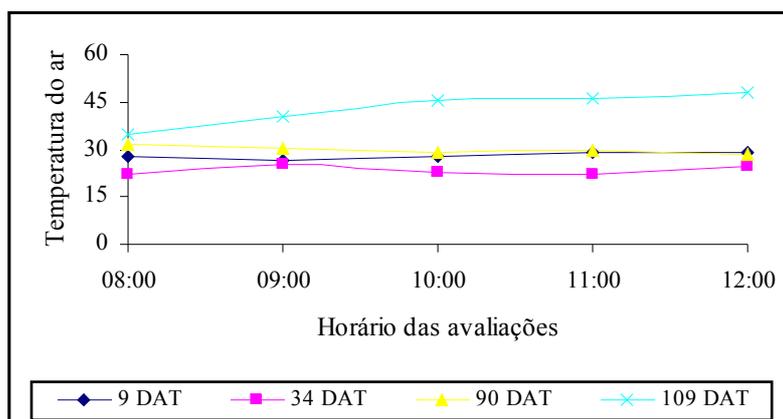
**Figura 10.** Condutância estomática, em  $\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de magnésio, em  $\text{mg L}^{-1}$ , nas diferentes colheitas. Valores médios ajustados pela equação exponencial quadrática.

As taxas de transpiração, de maneira geral, também se mantiveram constantes ao longo do ciclo, não diferindo entre as plantas submetidas aos diferentes níveis de

magnésio, exceto aos 109 dias após transplante, com discreto aumento (Figura 11), que pode ser explicado pelo expressivo aumento da temperatura nessa época (Figura 12).



**Figura 11.** Transpiração, em  $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de magnésio, em  $\text{mg L}^{-1}$ , nas diferentes colheitas. Valores médios ajustados pela equação exponencial quadrática.



**Figura 12.** Temperatura do ar, em  $^{\circ}\text{C}$ , aos 9, 34, 90 e 109 dias após transplante (DAT) das plantas de *Mentha piperita* L. para a solução nutritiva contendo diferentes níveis de magnésio entre 8:00 e 12:00 horas, período em que foram avaliadas suas trocas gasosas.

Os resultados demonstram, portanto, que aos 9 dias após transplante apesar da concentração interna de  $\text{CO}_2$  apresentar-se elevada nas plantas cultivadas com os diferentes níveis de magnésio, houve baixo consumo desse  $\text{CO}_2$  pelas células do mesófilo, verificado pelas baixas taxas de assimilação líquida de  $\text{CO}_2$  no período, em que as plantas eram ainda bem jovens.

A partir dos 34 dias após transplante, a redução da concentração interna de  $\text{CO}_2$  e o aumento das taxas de assimilação líquida desse gás (Figuras 8 e 9), indicam maior atividade metabólica das plantas, o que pode ser explicado também pela pequena variação de condutância estomática observada nas plantas cultivadas com os diferentes níveis de magnésio (Figura 10).

Como as plantas cultivadas com  $48,6 \text{ mg L}^{-1}$  apresentaram trocas gasosas semelhantes às das plantas cultivadas com  $24,3 \text{ mg L}^{-1}$ , ou seja, com redução de 50% do magnésio na solução nutritiva, este último nível mostrou-se suficiente, garantindo eficiência fotossintética, o que pode ter garantido seu desenvolvimento, conforme demonstrado anteriormente pelos índices da análise de crescimento.

Por outro lado, a eficiência fotossintética das plantas cultivadas com  $2,4 \text{ mg L}^{-1}$  foi baixa, conforme demonstram as figuras 8, 9, 10 e 11. Essas plantas apesar de terem apresentado concentração interna de  $\text{CO}_2$  muito próxima daquela das demais plantas, apresentaram baixa assimilação líquida de  $\text{CO}_2$  ao longo do ciclo, resultado concordante com os observados por Schulze et al. (1989), Jakobs (1996) e Kolling et al. (1997), que verificaram redução das taxas de assimilação líquida de  $\text{CO}_2$  em espécies do gênero *Picea*, cultivadas com deficiência de magnésio. Dessa forma, no presente estudo, as plantas cultivadas com  $2,4 \text{ mg L}^{-1}$  de magnésio possivelmente não fixaram o  $\text{CO}_2$  que havia disponível, devido a comprometimento do aparato fotossintético, que pode ter sido causado pelo magnésio, deficiente nesse nível. Tal resultado confirma, portanto, a importância do magnésio no processo de fotossíntese, como ativador enzimático de enzimas como, ribulose 1,5 bifosfatase carboxilase/oxigenase, quinase de fosfoglicerato, frutose 1,6 bifosfatase, sedoheptulose 1,7 bifosfatase e fosforibuloquinase, envolvidas no Ciclo de Calvin (Pakrasi et al., 2001, Epstein & Bloom, 2006). De acordo com Shaul (2002) as enzimas chaves do cloroplasto são muito afetadas por pequenas variações nos níveis de magnésio no citosol dessa organela.

Os resultados obtidos para as plantas cultivadas com  $2,4 \text{ mg L}^{-1}$  de magnésio concordam ainda com os de Hinkle & Eisenmenger (1950), Cobra e Netto et al. (1971), Balakrishnan et al. (2000) e Hermans et al. (2004), que ao estudarem frutas tropicais, beterraba, feijoeiro, e diversas outras espécies respectivamente, sob deficiência de magnésio, demonstraram que as plantas apresentaram perda ou diminuição da atividade fotossintética. Esses autores demonstraram também que a perda ou diminuição da atividade fotossintética pode ocorrer por problemas no cloroplasto relacionados com

empilhamento dos tilacóides, redução no conteúdo de clorofilas a e b e outros pigmentos, como os carotenóides, e desequilíbrio nos fotossistemas I e II.

Ainda nessas plantas cultivadas com o nível de 2,4 mg L<sup>-1</sup> de magnésio o provável atraso de ciclo, anteriormente demonstrado pelos índices fisiológicos da análise de crescimento, talvez justifique a manutenção da assimilação de CO<sub>2</sub> praticamente constante ao longo do tempo (Figura 8).

Com base nos resultados obtidos pode-se concluir que a redução do magnésio para 12,1 e 2,4 mg L<sup>-1</sup> interferiu com todos os índices fisiológicos avaliados, prejudicando o desenvolvimento e a fotossíntese das plantas de menta. Por outro lado, o nível igual a 24,3 mg L<sup>-1</sup> de magnésio foi suficiente uma vez que, tais plantas apresentaram índices que não diferiram, ou mesmo superaram, os verificados para as plantas cultivadas com 48,6 mg L<sup>-1</sup>.

## RESUMO

Os níveis de magnésio iguais a 48,6, 24,3, 12,1 e 2,4 mg L<sup>-1</sup> foram avaliados no desenvolvimento e fotossíntese das plantas de *Mentha piperita* L. Os índices fisiológicos da análise de crescimento, área foliar específica (AFE), razão de área foliar (RAF), taxa de crescimento relativo (TCR) e taxa assimilatória líquida (TAL), e as trocas gasosas, assimilação líquida de CO<sub>2</sub> (A), concentração interna de CO<sub>2</sub> (Ci), condutância estomática (gs) e transpiração (E) foram influenciadas pela redução do nível de magnésio. No entanto, essas variáveis apresentaram resultados satisfatórios quando as plantas foram cultivadas com 24,3 mg L<sup>-1</sup> do nutriente e, portanto, com sua redução em 50%. As plantas cultivadas com 2,4 mg L<sup>-1</sup> revelaram deficiência na fixação de CO<sub>2</sub>, o que limitou as trocas. Com base nos resultados pode-se sugerir nível excessivo de magnésio na solução completa contendo 48,6 mg L<sup>-1</sup>.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

Balakrishnan, K., Rajendran, C., Kulandaivelu, G. (2000). Differential responses of iron, magnesium, and zinc deficiency on pigment composition, nutrient content, and photosynthetic activity in tropical fruit crops. *Photosynthetica*. 38:477-79.

Barber J. (1976). Ionic regulation in intact chloroplasts and its effect on primary photosynthetic processes. In: Barber J, ed. *Topics in Photosynthesis: The Intact Chloroplast*. New York: Elsevier; 89–134.

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

Benner, P. Sabel, P. Wuld, A. (1988). Photosynthesis and transpiration of healthy and diseased spruce trees in the course of three vegetative periods. *Trees*. 2:223-232.

Beyschlag, W., Wedler, M., Lange, O. L., Heber, U. Influence of magnesium fertilizer application on the photosynthesis and transpiration of Norway spruce on a magnesium-deficient site in the Fichtelgebirge. *Allgemeine-Forstzeitschrift*. v. 29, p. 738-41. 1987.

Boaro, C.S.F. (2001). *Desenvolvimento de feijoeiros (*Phaseolus vulgaris*) em solução nutritiva com variação dos níveis de magnésio e da relação entre macronutrientes, durante o ciclo*. Botucatu, Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista. Tese Livre Docência.

Bueno, M. A. S. (2004). *Níveis de fósforo no desenvolvimento e produção de óleo essencial de *Thymus vulgaris* L. cultivado em solução nutritiva*. Botucatu, Universidade Estadual Paulista. Dissertação de Mestrado.

Causton, D.R.; Venus, J.C. (1981). *The biometry of plant growth*. London: Edward Arnold..

Clark, R. B. (1975). Differential magnesium efficiency in corn inbreds: I. Dry matter yield and mineral element composition. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 39:488-91.

Cobra Netto, A. Accorsi, W.R., Malavolta, E. (1971). Estudos sobre a nutrição mineral do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* var. Roxinho). *Na. Escola Superior Agricultura-Luis de Queiroz-Universidade de São Paulo*. 28:257-74.

Cowan, J. A. (2002). Structural and catalytic chemistry of magnesium-dependent enzymes. *Biometals*. 15:225–235.

David, E.F.S; Boaro, C.S.F; Marques, M.O.M. (2006). Rendimento e composição do óleo essencial de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes níveis de fósforo. Rev. Bras. Plantas Med. 8:183-188.

De Fazio, J.L.; Barreiro, A.P.; Ferrari, T.B.; Bonamin, F., Boaro, C.S.F. (2005) Análise de crescimento de hortelã (*Mentha crispa* L.) submetida a diferentes níveis de cálcio. In: Anais of Congresso Brasileiro de Fisiologia Vegetal e Congresso Latino Americano de Fisiologia Vegetal. Recife, Brazil.

Epstein, E. (1975). Nutrição mineral de plantas, princípios e perspectivas. Universidade de São Paulo, São Paulo.

Epstein, E. Bloom, A. (2006). Nutrição Mineral de Plantas: Princípios e Perspectiva. Editora Planta, Londrina.

Gama, M. V. (1977). Efeitos do azoto e do potássio na composição mineral do trigo “Ímpeto” e do tomate “Roma”. Agron. Lusit, 38:111-21.

Hermans, C.; Johnson, R. J. S. & Verbruggen. (2004). Physiological characterization deficiency in sugar beet: acclimation to low magnesium differentially affects photosystems I and II. Planta. 220:344-355.

Hinkle, D., Eisenmenger, W.S. (1950). Chloroplast pigments in relation to magnesium deficiency. Soil Science. 70: 213-20.

Hoagland D. R.; Arnon, D. I. (1950) The water: culture method for growing plants without soil. Berkeley: California Agricultural Experiment Station.

Jakobs, B. M. (1996). Magnesium deficiency treatment causes reductions in photosynthesis of well-nourished Norway spruce. Tree. 10: 293-300.

Kolling, C., Pauli, B., Harbele, K. H., Rehfuss, K. (1997). Magnesium deficiency in young Norway spruce (*Picea abies* (L.) Kars.t) trees induced by  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  application. Plant and Soil. 195:283-291.

Larkum, A.W.D. (1968). Ionic relations of chloroplasts in vivo. Nature. 218, 447 – 449.

Leigh RA & Wyn Jones RG. (1986). Cellular compartmentation in plant nutrition: the selective cytoplasm and the promiscuous vacuole. In: Tinker B and Lauchli A eds. Advances in Plant Nutrition 2. New York: Praeger Scientific; 249–279.

Magalhães, A.C.N. (1986) Análise quantitativa de crescimento. In: Ferri, M.G. Fisiologia vegetal. pp. 331-350. EDUSP, São Paulo.

Mairapetyan, S. K. (1999). Aromatic plant culture in open - air hidroponics. Acta Hort. 502:33-36.

Marengo, R. A Gonçalves, J. F. De C. Vieira, G. (2001). Photosynthesis and leaf nutrient contents in *Ochroma pyramidae* (Bombacaceae). Photosynthetica. 39: 539-543.

- Marschner, H. (1995) Functions of mineral nutrients: macronutrients. In: Marschner, H. Mineral nutrition of higher plants, pp. 229-312. Academic Press, London.
- Mcswain, B. D., Tsujimoto, H. Y., Arnon, D.I. (1976). Effects of magnesium and chloride ions on light-induced electron transport in membrane fragments from a blue-green alga. *Biochimistry Biophys. Acta*, 423: 313-22.
- Nakatani, H. Y., Barber, J., Minski, M. J. (1979). the influence of the thylakoid membrane surface properties on the distribution of ions in chloroplasts. *Biochim. Biophys Acta*. 545:24-35.
- Pakrasi, H.; Ogawa, T.; Bhattacharyya-Pakrasi, M. (2001). Transport of metals: a key process in oxygenic photosynthesis. In: Aro E-M, Anderson B (eds) Regulation of photosynthesis, pp 253–264. Kluwer, Dordrecht.
- Portes, T. De A.; Castro Junior, L.G. de. (1991). Análise de crescimento de plantas: um programa computacional auxiliar. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, Londrina, 3:53-56.
- Taiz, L. (2004) *Metabólitos secundários e defesa vegetal*. Fisiologia Vegetal. 3<sup>a</sup> ed. Artmed, Porto Alegre.
- Ruiz, H. (1997). A Relações molares de macronutrientes em tecidos vegetais como base para formulação de soluções nutritivas. *Ceres*, 44:533-546.
- Shaul, O. (2002) Magnesium transport and function in plants: the tip of the iceberg. *BioMetals* 15:309–323.
- Shulze, E-D., DeVries, W., Hauhs, M., Rosen, K., rasmussen, L.,Tamm, C. O.,Nilsson, J. (1989). Critical loads for nitrogen deposition on forest ecosystems. *Water, Air and Soil Pollution*. 48:451-56.
- Stocking, Cr, Ongum, A. (1962). The intracellular distribution of some metallic elements in leaves. *Am. J. Bot.* 49, 284 - 289.
- Valmorbida, J.; Boaro, C.S.F.; Marques, M.O.M.; Ferri, A.F. (2006) Rendimento e composição química de óleos essenciais de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva em diferentes concentrações de potássio. *Rev. Bras. Plantas Med.* 8:56-61.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

As plantas cultivadas com 24,3 mg L<sup>-1</sup> de magnésio, ou seja, com redução de 50% do nível desse nutriente, especificado como o completo para a solução de Hoagland & Arnon (1950) apresentaram resultados adequados para todas as variáveis avaliadas, o que conferiu a elas desenvolvimento e rendimento de óleo essencial satisfatórios. Dessa forma, considera-se que o nível de magnésio completo na solução e igual a 48,6 mg L<sup>-1</sup> foi excessivo para as plantas. Segundo Clark (1975), o crescimento máximo depende da interação dos nutrientes e o excesso de magnésio pode causar desequilíbrio entre eles. Estas considerações estão de acordo com Gama (1977), Lasa et al. (2000), Hermans et al. (2004), e Ding et al. (2006) que referem que a absorção dos nutrientes pelas plantas depende de diversos fatores, nos quais se incluem os efeitos antagônicos e sinérgicos entre os elementos, que variam em função, inclusive, das proporções entre eles.

De maneira geral, a redução do nível de magnésio para 12,1 e 2,4 mg L<sup>-1</sup> prejudicou o desenvolvimento, a fotossíntese e o rendimento de óleo essencial da menta.

As plantas cultivadas com o nível de 12,1 mg L<sup>-1</sup> de magnésio apresentaram respostas instáveis de todas as variáveis avaliadas ao longo de seu desenvolvimento. Já as plantas cultivadas com redução de 95% de magnésio, ou seja, 2,4 mg L<sup>-1</sup> apresentaram maior comprimento de parte aérea, área foliar, matéria seca de lâminas foliares, de caules mais pecíolos, de raízes e total das plantas. As maiores matérias secas verificadas nessas plantas concordam com os resultados de Hermans et al. (2004), que estudaram as características fisiológicas da deficiência de magnésio em beterraba e constataram que entre os distúrbios encontra-se o acúmulo de sacarose nas lâminas foliares, responsável pelo aumento em matéria seca das folhas. Apesar do autor referir acúmulo de sacarose, Marschner (1995) sugeriu, em trabalho de revisão e atualização, que o aumento de matéria seca de folhas de plantas submetidas à deficiência de magnésio poderia ser causado pelo acúmulo de amido. Apesar do aumento das variáveis acima referidas nas plantas cultivadas com 2,4 mg L<sup>-1</sup>, suas trocas gasosas foram

prejudicadas. Tal afirmativa encontra apoio nas taxas de assimilação líquida e concentração interna de CO<sub>2</sub> que revelaram existência de deficiência na fixação de CO<sub>2</sub>, mediado por processos metabólicos ao longo do desenvolvimento da espécie.

A época de colheita das plantas também interferiu com o rendimento de óleo essencial das plantas cultivadas com diferentes níveis de magnésio na solução nutritiva.

Na dependência da idéia econômica que se faça, ou seja, comercialização de parte aérea ou de óleo essencial, níveis de magnésio diferentes podem ser utilizados, levando-se em consideração o comportamento das plantas de menta em relação à produção de óleo essencial, por exemplo, aos 45 dias após transplante, onde se observa tendência de aumento no rendimento de óleo nas plantas cultivadas com 2,4 mg L<sup>-1</sup> de magnésio. No entanto, uma vez que, tanto as plantas colhidas em diferentes épocas como desenvolvidas em condições diversas podem conter óleos com características variáveis, deve ser realizada a avaliação da composição química desse óleo para aferir a sua qualidade.

## **CONCLUSÕES**

## CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos nas condições deste estudo, em que plantas de *Mentha piperita* L. foram cultivadas com redução do nível de magnésio pode-se concluir que:

- ✓ O nível de  $2,4 \text{ mg L}^{-1}$  foi deficiente para a fixação de  $\text{CO}_2$ .
- ✓ A redução do magnésio para  $12,1 \text{ mg L}^{-1}$  prejudicou o desenvolvimento e o rendimento de óleo essencial das plantas.
- ✓ O nível de magnésio igual a  $24,3 \text{ mg L}^{-1}$  foi adequado para o desenvolvimento, garantindo máxima produção de óleo essencial.
- ✓ A solução completa contendo  $48,6 \text{ mg L}^{-1}$  mostrou-se excessiva para a menta.
- ✓ Diferentes níveis de magnésio podem ser utilizados na dependência do interesse pelas plantas ser relacionado com produção de parte aérea ou de óleo essencial.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

BALAKRISHNAN, K., RAJENDRAN, C., KULANDAIVELU, G. Differential responses of iron, magnesium, and zinc deficiency on pigment composition, nutrient content, and photosynthetic activity in tropical fruit crops. **Photosynthetica**. v. 38, p. 477-79. 2000.

BARBER J. Ionic regulation in intact chloroplasts and its effect on primary photosynthetic processes. In: Barber J, ed. Topics in Photosynthesis: The Intact Chloroplast. New York: **Elsevier**; p. 89–134. 1976.

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

BENNER, P. SABEL, P. WULD, A. Photosynthesis and transpiration of healthy and diseased spruce trees in the course of three vegetative periods. **Trees**. v. 2, p. 223-232. 1988.

BEYSCHLAG, W., WEDLER, M., LANGE, O. L., HEBER, U. Influence of magnesium fertilizer application on the photosynthesis and transpiration of Norway spruce on a magnesium-deficient site in the Fichtelgebirge. **Allgemeine-Forstzeitschrift**. v. 29, p. 738-41. 1987.

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

BUENO, M. A. S. **Níveis de fósforo no desenvolvimento e produção de óleo essencial de *Thymus vulgaris* L. cultivado em solução nutritiva**. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista, Brasil, 85pp. 2004.

CAKMAK I, HENGELER C, MARSCHNER H. Partitioning of shoot and root dry matter and carbohydrates in bean plants suffering from phosphorus, potassium and magnesium deficiency. **Journal of Experimental Botany**. v. 45, p. 1245-1250. 1994.

CLARK, R. B. Differential magnesium efficiency in corn inbreds: I. Dry matter yield and mineral element composition. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, v. 39, p. 488-91. 1975.

COBRA NETTO, A. ACCORSI, W.R., MALAVOLTA, E. Estudos sobre a nutrição mineral do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* var. Roxinho). **Na. Escola Superior Agricultura-Luis de Queiroz-Universidade de São Paulo**, v.28, p.257-74, 1971.

COWAN, J. A. Structural and catalytic chemistry of magnesium-dependent enzymes. **Biomaterials**. v. 15, p. 225–235. 2002.

DAVID, E.F.S; BOARO, C.S.F and Marques, M.O.M. Rendimento e composição do óleo essencial de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes níveis de fósforo. **Rev. Bras. Plantas Med.** v. 8, p. 183-188. 2006.

DE FAZIO, J.L.; BARREIRO, A.P.; FERRARI, T.B.; BONAMIN, F., BOARO, C.S.F. Análise de crescimento de hortelã (*Mentha crispa* L.) submetida a diferentes níveis de cálcio. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FISILOGIA VEGETAL, 10. CONGRESSO LATINO AMERICANO DE FISILOGIA VEGETAL, 12., Recife. Anais. Recife, 2005. 1CD-ROM.

DING, Y.; LUO, W.; XU, G. Characterisation of magnesium nutrition and interaction of magnesium and potassium in rice. **Annals of Applied of Biology**. v. 149, p. 111-123. 2006.

DIXIT, D. & SRIVASTAVA, N. K. Boron deficiency induced changes in translocation of  $^{14}\text{CO}_2$  – photosynthate into primary metabolites in relation to essential oil and curcumin accumulation in tumeric (*Curcuma longa* L.). **Photosynthetica**. v. 40, n.1, p. 109-113. 2002.

EPSTEIN, E. Nutrição mineral de plantas, princípios e perspectivas. Universidade de São Paulo, São Paulo. 1975.

EPSTEIN, E. BLOOM, A. Metabolismo Mineral. In: **Nutrição Mineral de Plantas: Princípios e Perspectiva**. Editora Planta, Londrina, Brasil, p.209-244. 2006.

FISCHER E. S, BREMER E. Influence of magnesium deficiency on rates of leaf expansion, starch and sucrose accumulation and net assimilation in *Phaseolus vulgaris*. **Physiology Plant**. v. 89, p. 271-276. 1993.

FURLANI, P.R. Instruções para o cultivo de hortaliças de folhas pela técnica de hidroponia. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, v. 168, pp. 1-30. 1998.

GAMA, M. V. Efeitos do azoto e do potássio na composição mineral do trigo “Ímpeto” e do tomate “Roma”. **Agron. Lusit**, 38:111-21. 1977.

HERMANS, C.; JOHNSON, R. J. S. & VERBRUGGEN. Physiological characterization deficiency in sugar beet: acclimation to low magnesium differentially affects photosystems I and II. **Planta** v. 220, p.344-355. 2004.

HINKLE, D., EISENMENGER, W.S. Chloroplast pigments in relation to magnesium deficiency. **Soil Science**, v. 70, p. 213-20, 1950.

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

JAKOBS, B. M. Magnesium deficiency treatment causes reductions in photosynthesis of well-nourished Norway spruce. **Tree**. V. 10: 293-300. 1996.

KOLLING, C., PAULI, B., HARBELE, K. H., REHFUESS, K. Magnesium deficiency in young Norway spruce (*Picea abies* (L.) Kars.t) trees induced by  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  application. **Plant and Soil**. 195:283-291. 1997.

LARCHER, W. Ecofisiologia vegetal. (Eds) RiMa, São Carlos, SP., 531p. 2000.

LASA, B.; FRECHILLA, M. A.; GONZALEZ-MORO, B.; LAMSFUS, C.; APARICIO-TEJO, P. M. Effects of low and high levels of magnesium on the response of sunflower plants grown with ammonium and nitrate. **Plant and Soil**. v. 225, p.167-174. 2000.

LEAL, F.P. Desenvolvimento, produção e composição de óleo essencial da *Mentha piperita* L., cultivada em solução nutritiva com diferentes níveis de nitrogênio. Dissertação, Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, Botucatu. 2001.

MAGALHÃES, A.C.N. Análise quantitativa de crescimento. In: FERRI, M.G. **Fisiologia vegetal**. São Paulo: EDUSP, v. 1, p. 331-350. 1986.

MAIRAPETYAN, S. K. Aromatic plant culture in open - air hidroponics. **Acta Hortic.**, Wageningen,n.502, p. 33-36, 1999.

MALAVOLTA, E.; CHAVES, I.; TONIN, G.S. AND SOUZA, A.F. Deficiências de macronutrientes na soja (*Glycine max* L. Merrill, var IAC-2). **An. Esc. Sup. Agric.** "Luiz de Queiroz", 33, 471-477. 1976.

MARENCO, R.<sup>a</sup> GONÇALVES, J. F. de C. VIEIRA, G. Photosynthesis and leaf nutrient contents in *Ochroma pyramidae* (Bombacaceae). **Photosynthetica**. 39 (4): 539-543, 2001.

MARSCHNER, H. **Functions of mineral nutrients: macronutrients**. In: Mineral nutrition of higher plants. London: Academic Press, cap.8, p. 229-312. 1995 .

McSWAIN, B. D., TSUJIMOTO, H. Y., ARNON, D.I. Effects of magnesium and chloride ions on light-induced electron transport in membrane fragments from a blue-green alga. **Biochimistry Biophys. Acta**, v. 423, p. 313-22. 1976.

NAKATANI, H. Y., BARBER, J., MINSKI, M. J. the influence of the thylakoid membrane surface properties on the distribution of ions in chloroplasts. **Biochim. Biophys Acta**. 545:24-35. 1979.

PAKRASI, H.; OGAWA, T.; BHATTACHARYA-PAKRASI, M. Transport of metals: a key process in oxygenic photosynthesis. In: Aro E-M, Anderson B (eds) Regulation of photosynthesis. Kluwer, Dordrecht, pp 253-264. 2001.

PICCHI, D.G.; SACRAMENTO, L.V.S. AND ALMEIDA, A.C.S. Cultivo hidropônico de hortelã: Morfologia radicular em função de níveis de cálcio na solução nutritiva. In: Anais do 5°. Workshop de Plantas Mediciniais de Botucatu, Botucatu, São Paulo. 2002.

PORTES, T. DE A.; CASTRO JUNIOR, L.G. DE. Análise de crescimento de plantas: um programa computacional auxiliar. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, 3.:53-56. 1991.

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

SANTOS, J. E., LUZ, J. M.Q., FURLANI, P. R., MARTINS, S. T., HABER, L. L., LEMA, R. M. Q. (2002). Diferentes concentrações de solução nutritiva para a cultura de alfavaca (*Ocimum basilicum*) em sistema de cultivo hidropônico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 42., 2002, Uberlândia. Anais... Uberlândia: Sociedade de Olericultura do Brasil, 1 CD-ROM.

SIMÕES, C.M.O.; SPITZER, V. Óleos voláteis. In: SIMÕES, C.M.O.; SCHENKEL, E.P.; GOSMAN, G. (Eds.). **Farmacognosia: da planta ao medicamento**. 2.ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul; Universidade Federal de Santa Catarina, pp. 394-412. 2000.

SINGH, P.; MISRA, A. & SRIVASTAVA, N. K..Influence of Mn deficiency on growth, chlorophyll content, physiology an essential monoterpene oil(s) in genotypes of spearmint (*Mentha spicata* L.). **Photosynthetica**. v. 39, n.3, p. 473-476. 2001.

SHAUL, O. (2002) Magnesium transport and function in plants: the tip of the iceberg. **BioMetals** 15:309–323.

SHULZE, E-D., DEVRIES, W., HAUHS, M., ROSEN, K., RASMUSSEN, L.,TAMM, C. O.,NILSSON, J. Critical loads for nitrogen deposition on forest ecosystems. **Water, Air and Soil Polution**. 48:451-56. 1989.

SRIVASTAVA, N. K. & LUTHRA, R. The relation between primary and secondary metabolism in peppermint under Fe-stress. **Journal Essential Oil Research**. v. 5, pp.525-534. 1993.

SRIVASTAVA, N. K.; MISRA, A. & SHARMA, S. The substrate utilization and concentration of <sup>14</sup>C photosynthates in citronella under Fe deficiency. **Photosynthetica**. v. 35, n. 3, p.391-398. 1998.

STOCKING, CR, ONGUM, A. The intracellular distribution of some metallic elements in leaves. **Am. J. Bot**. 49, 284 - 289. 1962.

TAIZ, L.. Metabólitos secundários e defesa vegetal. **Fisiologia Vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, cap. 13, p.309-332. 2004.

TOPALOV, V.; ZHELYAZKOV, V. Effect of harvesting on the yield of fresh material, essential oil, and planting material from *Mentha piperita* L. and *Mentha arvensis* L.. **Herba Hung.**, v. 50, pp. 60-67. 1991.

VALMORBIDA, J.; BOARO, C.S.F.; Marques, M.O.M. and Ferri, A.F. Rendimento e composição química de óleos essenciais de *Mentha piperita* L. cultivada em solução

nutritiva em diferentes concentrações de potássio. **Rev. Bras. Plantas Med.**, 8, 56-61. 2006.

## APÊNDICES

