**NUTRIÇÃO MINERAL, CRESCIMENTO E
QUALIDADE DO ÓLEO ESSENCIAL DA MENTA
(*Mentha arvensis* L.) CULTIVADA EM SOLUÇÃO
NUTRITIVA**

NILSON BORLINA MAIA

Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. QUIRINO A. C. CARMELLO

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Agronomia, Área de Concentração: Solos e Nutrição de Plantas

**PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Outubro de 1994**

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Livros da
Divisão de Biblioteca e Documentação - PCLQ/USP

Maia, Nilson Borlina

M217n Nutrição mineral, crescimento e qualidade do óleo
essencial da menta (*Mentha arvensis* L.) cultivada em
solução nutritiva. Piracicaba, 1994.
69p. ilustr.

Diss.(Mestre) - ESALQ
Bibliografia.

1. Menta - Crescimento 2. Menta - Nutrição 3. Óleo
essencial de menta - Qualidade I. Escola Superior de
Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba

CDD 635.7

NUTRIÇÃO MINERAL, CRESCIMENTO E
QUALIDADE DO ÓLEO ESSENCIAL DA MENTA
(*Mentha arvensis* L.) CULTIVADA EM SOLUÇÃO
NUTRITIVA

NILSON BORLINA MAIA

Engenheiro Agrônomo

Comissão julgadora:

Prof. Dr. Quirino Augusto de Camargo Carmello

ESALQ/USP

Prof. Dr. Antonio Roque Dechen

ESALQ/USP

Dr. Odair Alves Bovi

IAC

Prof. Dr. Quirino A. C. Carmello
Orientador

Agradecimentos:

Agradeço a todos que direta ou indiretamente auxiliaram e possibilitaram a realização deste trabalho, especialmente aos colegas e amigos: Quirino A. C. Carmello, orientador deste trabalho; Odair Alves Bovi, Fernando Romariz Duarte, Maria Beatriz Calheiros, Hilda M. da Silva Honório, Paula Durante, Marcel Milano e João Vieira Monteiro, da Seção de Plantas Aromáticas e Medicinais do IAC; Márcia O. M. Marques, da Seção de Fitoquímica do IAC; Heitor Cantarella, Celi Feitosa e Cleide A. Abreu, da Seção de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas do IAC; Marilene Leão Alves Bovi da Seção de Plantas Tropicais do IAC; Lauro E. S. Barata do Laboratório de Produtos Naturais do Departamento de Química da UNICAMP; Valdemar Atilio Malavolta Jr., da Seção de Bacteriologia Fitopatológica do Instituto Biológico; Lurdes A. D. Gonzales, Nivanda M. de Moura, Fernando Eder Ré e Ricardo de Souza Oliveira do Departamento de Química da ESALQ; Sonia Piedade, do Departamento de Estatística da ESALQ; Roberto Venceslau de Carvalho e Maria Isabel Francelli, do Departamento de Fitopatologia da ESALQ; Eliana M.G. Sabino, da Biblioteca da ESALQ; Cristina de Paiva Gonçalves, da Multiplica LTDA; a Vera Lúcia Aleixo Martins; ao Instituto Agrônomo de Campinas, pelo apoio ao trabalho e ao CNPq, pela bolsa de estudo.

SUMÁRIO

	Página
SUMÁRIO	iv
RESUMO	vii
SUMMARY	viii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Histórico sobre a planta de menta.....	3
2.2. Usos do óleo	5
2.3. Qualidade do óleo	6
2.4. Nutrição mineral	7
2.4.1. Nitrogênio	8
2.4.2. Fósforo	9
2.4.3. Potássio	10
2.4.4. Ferro	11
2.4.5. Zinco	12
2.4.6. Boro	13
3. MATERIAL E MÉTODOS	14
3.1. Variedade e obtenção do material	14
3.2. Plantio	14
3.3. Tratamentos e soluções nutritivas	15
3.4. Colheita das plantas	16

3.5. Doença bacteriana	18
3.6. Destilação do óleo	18
3.7. Análise cromatográfica do óleo	18
3.8. Análise química das plantas	19
3.9. Delineamento experimental e análise estatística	20
 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	 21
4.1. Sintomas visuais de deficiência	21
4.2. Produção de material seco	25
4.2.1. Planta inteira	25
4.2.2. Folhas	27
4.2.3. Hastes	28
4.2.4. Estolões	29
4.2.5. Raízes	30
4.3. Teores de nutrientes	30
4.3.1. Folhas	30
4.3.2. Hastes	33
4.3.3. Estolões	34
4.3.4. Raízes	36
4.3.5. Planta inteira	38
4.4. Quantidade de nutrientes	39
4.4.1. Folhas	39
4.4.2. Hastes	41
4.4.3. Estolões	43
4.4.4. Raízes	45
4.4.5. Planta inteira	47

4.5. Doença bacteriana	48
4.6. Qualidade do óleo essencial	49
4.6.1. Análise multidimensional	52
4.6.2. Limoneno	55
4.6.3. Mentona	56
4.6.4. Mentol	57
4.6.5. Metil acetato	58
5. CONCLUSÕES	60
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61

NUTRIÇÃO MINERAL, CRESCIMENTO E QUALIDADE DO ÓLEO ESSENCIAL DA MENTA (*Mentha arvensis* L.) CULTIVADA EM SOLUÇÃO NUTRITIVA

Autor: NILSON BORLINA MAIA

Orientador: Prof. Dr. QUIRINO A. C. CARMELLO

RESUMO

Para determinação do efeito de nutrientes na qualidade do óleo essencial da *Mentha arvensis*, cultivou-se plantas submetidas a oito tratamentos em solução nutritiva completa, com omissão de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, ferro, zinco e boro.

O óleo essencial das folhas de cada tratamento foi extraído por destilação de arraste de vapor e analisado por cromatógrafo acoplado a espectrômetro de massa (GC-MS).

A análise indicou sensíveis diferenças quanto ao número de componentes e à proporção de limoneno, mentona, mentol e metil acetato no óleo.

Determinou-se também efeitos da omissão de nutrientes no desenvolvimento de folhas, hastes, estolões e raízes das plantas e as suas respectivas extrações de nutrientes.

Sintomas visuais de deficiência de nitrogênio, fósforo, potássio e cálcio foram observados e descritos.

NUTRITION, GROWTH AND ESSENTIAL OIL QUALITY OF MINT (*Mentha arvensis* L.) IN NUTRIENT SOLUTION

Author: NILSON BORLINA MAIA

Adviser: Dr. QUITRINO A. C. CARMELLO

SUMMARY

To determinate the effect of the macro and micronutrients on the *Mentha arvensis* essential oil, plants were submitted to complete nutrient solution or without N, P, K, Ca, Fe, Zn and B.

Essential oil extracted by hydrodistillation was analyzed by gas chromatography and mass spectrometry. Oil nutrient omission influenced oil quality affecting concentrations of limonene, menthone, menthol and menthyl acetate.

Nutrient omission altered leaves, shoots, rhizomes and roots development as their respective nutrient extraction.

This work also describes visual symptoms of nitrogen, phosphorous, potassium and calcium deficiencies.

1. INTRODUÇÃO

A menta (*Mentha arvensis* L.), é uma planta aromática da família *Labiatae*, da qual se extrai, por processo de arraste de vapor relativamente simples, um óleo essencial rico em mentol. Este produto tem larga aplicação nas indústrias de alimentos, farmacêutica, de higiene e do tabaco. O subproduto do processo de purificação de mentol, o óleo dementolado, também tem grande valor industrial.

Durante a II Grande Guerra Mundial, devido às limitações comerciais com o Oriente, o Brasil tornou-se o principal produtor de óleo de menta e mentol. Vários fatores levaram o país a perder essa posição, sendo os mais importantes, a associação da cultura com a fronteira agrícola, que na época deslocou-se do Oeste paulista para o Paraguai, e o advento do mentol sintético que fez com que os preços diminuíssem.

Mesmo assim, o mentol natural, extraído principalmente da *M. arvensis* L., continua tendo um papel muito importante devido a sua qualidade, simplicidade e baixo custo de produção nas regiões em que é cultivada (BRODERICK, 1993). O mentol sintético somente encontra mercado quando há elevações excessivas no preço do natural (GREENHALG, 1979). Segundo CLARK (1994), a mentona, um outro componente deste óleo, tem o mesmo comportamento.

A cultura da menta deslocou-se rapidamente da primeira região onde foi plantada no Estado de São Paulo, em direção às novas fronteiras agrícolas, que no período de 1940 a 1970 encontravam-se no Oeste do Paraná e no Paraguai. O tipo de solo, clima e os sistemas de produção utilizados nessas regiões, provocaram perdas de nutrientes por erosão e lixiviação. Essas perdas deixaram os solos menos férteis e sem condições de dar suporte a lavouras produtivas, o que fez com que os produtores procurassem novas áreas para exploração.

Para substituir a grande quantidade de nutrientes perdida nas cinzas das matas queimadas, responsáveis pela produtividade mais elevada, é necessário a aplicação de altas doses de adubos orgânicos ou minerais, os quais podem ter influência sobre a qualidade do óleo essencial.

O mentol, apesar de ser o componente presente em maior quantidade no óleo, não é suficiente para definir a sua qualidade. Outras substâncias, presentes em pequenas porcentagens, têm grande importância, sendo que pequenas alterações nas suas quantidades podem alterar significativamente a qualidade do óleo.

A proporção entre todos esses componentes é variável em função de vários fatores ambientais, sendo a nutrição da planta um dos mais importantes.

Neste trabalho procura-se determinar os efeitos da omissão de alguns macro e micronutrientes da solução nutritiva no crescimento e na qualidade do óleo essencial da menta.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Apesar do homem utilizar e estudar os aromas de plantas desde o início das civilizações mais antigas, a literatura científica concernente, quando comparada com a das grandes culturas, é bastante restrita e está dispersa em obras e periódicos, nem sempre específicos.

No Brasil, faltam obras que cubram satisfatoriamente o assunto, a despeito da importância e da grande variabilidade das espécies aromáticas que aqui ocorrem.

2.1. Histórico da planta de menta

Os primeiros registros da ocorrência da *M. arvensis* datam do século I, quando o sacerdote japonês Enzan levou a planta da China para seu país e plantou-a nas cercanias de Kyoto, para usar suas folhas no chá. Somente por volta de 1870 relata-se um aumento expressivo na área plantada, próximo à cidade de Yamagata e posteriormente, em 1892, são feitos cultivos experimentais em diversas ilhas do arquipélago (GUENTHER, 1949).

No Brasil, a menta passou a ser cultivada em pequena escala pelos primeiros imigrantes japoneses, que a trouxeram para o interior do Estado de São Paulo no começo do século. As restrições comerciais impostas aos produtos japoneses durante as guerras Sino-japonesa e II Guerra Mundial causaram escassez do óleo de menta e do mentol no mundo todo, elevando seus preços e estimulando os agricultores, japoneses imigrados para o Brasil, a cultivarem a menta em escala industrial (LIMA & MOLLAN, 1952).

SANTOS (1993) menciona que as primeiras plantações surgiram na região de Presidente Prudente, SP, em 1925. GUENTHER (1949), afirma que as primeiras plantações brasileiras de *M. arvensis*, foram feitas na Fazenda São Bartolomeu no município de Paraguaçu, SP, mostrando concordância entre os autores quanto à região pioneira no seu plantio. O autor acrescenta que, a partir dessa região, o cultivo da menta avançou para o Norte do Estado do Paraná, estabelecendo-se por fim no Paraguai. No Brasil ela foi intensamente cultivada entre os anos de 1963 e 1975, quando então seu cultivo começou a entrar em declínio.

GREENHALGH (1979) compara o Brasil com os Estados Unidos, onde as lavouras também se deslocaram em direção aos solos virgens recém-desmatados. No Brasil, esse deslocamento teria sido provocado, além da exaustão do solo citado por HUET (1972), também pelo ataque da ferrugem da menta (*Puccinia menthae*), segundo SANTOS (1993).

Dois países destacaram-se na sucessão do Brasil como principais fornecedores mundiais: China e Paraguai, havendo dúvidas se o primeiro permaneceria na posição devido às políticas internas de produção então adotadas (KIEFER, 1986).

Mais recentemente, a produção de menta tem se concentrado no Norte da Índia, onde, segundo vários autores, apresenta grande importância econômica e social (DUHAN et al., 1977; KOTHARI et al., 1987a e NAIR et al., 1991).

A melhoria da posição brasileira no mercado de óleo essencial depende da retomada da produção agrícola de *M. arvensis*. Para isso, é necessário que sejam solucionados alguns problemas de fertilidade, que foram os principais responsáveis pelo deslocamento da cultura para o Paraguai, conforme indica a literatura.

2.2. Usos do óleo

Os principais usos do mentol podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1: Consumo de mentol por tipo de produto (t/ano) e região.

PRODUTO	REGIÃO					
	AMÉR. N.	EUROPA	ÁSIA	AMÉR. S. e C.	OUTROS	TOTAL
TABACO	800	100	300	100	50	1350
HIGIENE BUCAL	350	500	450	300	250	1850
FÁRMACOS	200	400	750	100	100	1550
CONFEITOS	80	100	200	140	50	570
CREME BARBEAR	50	80	40	50	30	250
OUTROS	20	20	10	10	20	80
TOTAL	1500	1200	1750	700	500	5650

Fonte: Clark (1988).

O óleo essencial de menta e o mentol podem ser usados ainda numa infinidade de outros produtos, pois seu efeito sobre os microorganismos pode ser aproveitado de várias maneiras. SINGH et al. (1983) demonstram o efeito fungicida e fungistático desses óleos sobre 23 espécies, entre elas *Alternaria sp.*, *Curvularia lunata*, *Fusarium moniliformae*, *F. solani* e *Rizoctonia bataticola*. Os autores usaram

concentrações variando de 500 a 10.000 ppm de óleo de menta nos respectivos meios de cultura, e observaram inibição de 100% dos micélios, a partir de 2.000 ppm, o que os levou a afirmar que "o óleo de *Mentha arvensis*, devido à sua forte atividade fungicida e largo espectro de atividade, superior a alguns fungicidas comerciais, pode ser usado como um forte produto no controle de doenças de plantas e animais."

SINGH et al. (1992) concluem que o óleo de menta, além de antifúngico, desempenha um papel antibacteriano, controlando o desenvolvimento de *Salmonella sp.* e *Staphylococcus sp.* Entre os fungos, controlou-se *Alternaria sp.*, *Fusarium sp.*, *Cochliobolus sativus*, *Sclerotium rolfsii* e *Aspergillus parasiticus*. Os autores também sugerem o seu uso direto sobre grãos e alimentos armazenados, visando o controle de microorganismos e insetos,

2.3. Qualidade do óleo essencial

O óleo essencial é uma mistura de compostos de diversas naturezas acumulados pela planta. Normalmente estes compostos não têm função direta nas principais atividades bioquímicas da planta, como fotossíntese, respiração, proteossíntese, etc. Por isso os estudos na área são mais restritos e somente mais recentemente têm recebido maior atenção (CONN, 1981).

Outro fator responsável pelo avanço nas determinações da composição do óleo essencial e, conseqüentemente, da sua qualidade, é a evolução tecnológica dos equipamentos analíticos modernos que permitem uma melhor separação dos componentes, conforme demonstra MAIA et al. (1991). Por esses motivos os trabalhos sobre o assunto são relativamente recentes e escassos.

Apesar dessas limitações, determinou-se muitos fatores que alteram a composição do óleo essencial, tais como o fotoperíodo descrito por CLARK & MENARY, (1979) e SINHA & SINGH (1984); a temperatura (HERALTH et al., 1979); o regime hídrico (CHARLES et al., 1990) o método de irrigação (DUHAN et al., 1977); e a variedade plantada (DONALÍSIO et al., 1985), entre outros.

GUENTHER (1949), descreve o óleo essencial de menta com as seguintes características físicas:

Peso específico a 25°C	0,876 a 0,898
Rotação Óptica	-29°12' a -42°48'
Índice de refração	1,14577 a 1,14695
Teor de mentol total	65,2 a 88,9%
Teor de ester (metil acetato)	4,5 a 18,9%

2.4. Nutrição mineral

Há muito tempo, a *Mentha arvensis* já foi definida por vários autores como sendo uma planta muito exigente quanto à nutrição (FINNEMORE, 1926; GUENTHER, 1949). Porém, poucos são os trabalhos sobre nutrição, encontrados na literatura. A Índia destacou-se na produção de artigos científicos sobre a nutrição de menta, a partir da década de 1980, sendo mais frequentes os trabalhos do "Central Institute of Medicinal And Aromatic Plants" em Pantnagar, Utta Pradesh, no Norte do País, próximo ao Himalaia.

Não foram encontrados na literatura, estudos sobre o efeito do Ca, Mg e S em *Mentha arvensis*. Quanto aos micronutrientes, somente Fe, Zn e B foram

estudados com mais detalhes. Um único trabalho, o de FAROOQI & MISRA (1983) estudou, ainda que superficialmente, o desenvolvimento da planta em função desses três micronutrientes e também Cu, Mn e Mo.

2.4.1. Nitrogênio

Entre todos os nutrientes, o N é o que apresenta a maior resposta positiva sobre a produção de massa verde de menta. Isso se deve a uma somatória de fatores fisiológicos, que interagem com o nitrogênio e contribuem para que a planta sintetise mais açúcares, aminoácidos e ácidos nucleicos, resultando em uma maior massa total da planta. Trabalhos de vários autores demonstram esse fato.

KOTHARI et al. (1987b) mostram que as variedades melhoradas respondem melhor às altas doses de N (150 kg/ha) do que a variedade padrão, deixando claro que a resposta da planta à presença do nutriente tem uma forte interação com as suas características genéticas.

Existe fortes interações entre o nitrogênio disponível e outros fatores de produção. KHERA et al. (1986), demonstraram interações entre N e a irrigação. RAM et al. (1989) observaram que a forma e época de cobertura com a forma do adubo comum, granulado ou supergranulado recoberto. Esses trabalhos conduzem à inferência de que a omissão ou a deficiência de N na nutrição da menta limitará bastante a produção de folhas, hastes, raízes e rizomas.

Quanto aos aspectos qualitativos, SINGH & SINGH (1968a) estudaram doses variáveis no intervalo de 0 a 200 kg/ha de N e observaram que o teor de mentol no óleo essencial permaneceu inalterado em todos os tratamentos.

A falta de outro fator nutricional como o fósforo, por exemplo, tem grande interação com o metabolismo do nitrogênio, o que compromete a síntese de aminoácidos e diminui a produção de proteínas. Desse modo, como demonstraram SINGH & SINGH (1968a), a produção de massa verde da planta fica bastante comprometida por uma série de efeitos fisiológicos.

2.4.2. Fósforo

A importância do fósforo nas diversas reações bioquímicas dependentes de energia fica evidente, em vários trabalhos científicos.

Plantas de menta cultivadas em um meio pobre em fósforo, são caracterizadas por terem um desenvolvimento alterado, tendo menos folhas, menor área foliar, menor massa de matéria seca e verde. Os sintomas foliares da deficiência consistem em folhas velhas mais verdes, que se tornam avermelhadas e as hastes mais lenhosas. A altura da planta não chega a ser alterada (SINGH & SINGH, 1968a). Os autores ainda concluíram que a deficiência do elemento compromete a planta em qualquer que seja seu estágio de desenvolvimento.

A falta de fósforo, além de alterar as reações bioquímicas energéticas em que está diretamente associado, altera o metabolismo de outros nutrientes, como mostraram SINGH & SINGH (1968a), num experimento onde a falta do nutriente afetou o nitrogênio, resultando em acúmulo de bases aminadas, aminoácidos e no empobrecimento na formação de proteínas.

SINGH & SINGH (1968a) demonstraram a importância do fósforo no metabolismo dos carboidratos, tais como frutose, glucose, sacarose e açúcares redutores

na *Mentha arvensis*. Nesse trabalho, a deficiência do elemento causou um acúmulo dos açúcares em todos os órgãos da planta, que foi mais evidente nas hastes. Os autores apresentaram duas explicações para esse fato: a interferência na síntese de proteínas no estágio de redução do nitrato e o acúmulo de aminoácidos.

Por ser um elemento tão importante em funções básicas do desenvolvimento da planta, o método e a forma de aplicação dos adubos fosfatados em culturas de menta são determinantes no rendimento da lavoura. KOTHARI et al. (1987a) demonstraram em um ensaio de campo na Índia, que a altura da planta e o rendimento de óleo estão significativamente correlacionados com a profundidade de aplicação do fertilizante fosfatado e a distância entre o adubo e as linhas de plantio. Os melhores resultados foram obtidos quando o fertilizante foi colocado a 15 cm de profundidade e à igual distância lateral do centro da linha de mudas.

Quanto à quantidade de fósforo necessária, SUBRAHMANYAM et al. (1991), observaram em um ensaio de campo de dois anos no Norte da Índia, que a dose de 30 kg/ha de P foi responsável pela maior produção de matéria seca da parte aérea e maior produção total de óleo.

2.4.3. Potássio

O estudo do efeito do potássio sobre a menta quando cultivada em solução nutritiva, tem mostrado que esse nutriente tem influência significativa sobre o metabolismo do nitrogênio, a taxa de respiração e o teor de óleo essencial. SINHA & SINGH (1984) mostraram que as plantas cultivadas nessas condições, com omissão de K, acumularam nitrogênio amoniacal, a partir de 60 dias do plantio, independentemente da época do ano em que ela foi cultivada. O teor de óleo essencial em plantas deficientes

em K foi mais alto, porém seu efeito na redução da área foliar foi muito grande, o que reduziu consideravelmente a produção de óleo por planta e por área cultivada.

2.4.4. Ferro

O efeito do ferro na nutrição da menta foi bastante estudado na Índia, onde recomenda-se a aplicação de até 55 kg/ha de FeSO_4 (NAIR et al. 1991).

A omissão de Fe na solução nutritiva reportada no trabalho de FAROOQI & MISRA (1983) causou uma redução significativa de 50% no teor de óleo essencial nas folhas frescas. NAIR et al. (1991) e MISRA & SHARMA (1991a) também detectaram efeitos semelhantes.

Tal fato pode ser entendido na demonstração de SRIVASTAVA & LUTHRA (1993). Trabalhando com $^{14}\text{CO}_2$ em *Mentha piperita*, demonstraram que a síntese de óleo essencial é dependente de energia. No experimento as plantas deficientes em Fe reduzem drasticamente a quantidade de CO_2 fixado como açúcares e portanto a disponibilidade de energia e o óleo produzido.

MISRA (1990) mostrou que a falta de Fe alterou a morfologia dos cloroplastos das células do mesófilo foliar, os quais ficaram pequenos e retorcidos. Os tilacoides apresentaram-se inchados e mal formados. Além disso, o número médio de cloroplastos por célula que normalmente é de 16, foram reduzidos a 9 nas plantas deficientes. O autor descreveu as plantas cultivadas em ausência de Fe, como reduzidas em menos da metade do tamanho das plantas normais e com uma severa clorose internerval seguida de necrose característica.

MISRA & SHARMA (1991a) mostraram um aumento significativo da matéria seca, em função das concentrações crescentes de Fe em solução nutritiva, determinando como 5,6mg/l o nível crítico de Fe na solução nutritiva.

2.4.5. Zinco

O Zinco é importante para a menta cultivada nos solos de aluvião do Norte da Índia, que são pobres no elemento (MISRA & SHARMA, 1991b). Esses autores, estudando plantas cultivadas em solução nutritiva sem Zn, descreveram os seguintes sintomas visuais de deficiência: folhas pequenas com clorose internerval no terceiro par de folhas e internódios curtos. FAROOQI & MISRA (1983), descreveram que as plantas apresentaram também um aspecto raquítico com baixa produção de massa verde.

MISRA & SHARMA (1991b) determinaram a concentração crítica de Zn nas folhas como 28,0mg/kg e na solução em 0,0475 mg/l de Zn, que foi semelhante ao nível encontrado por SUBRAHMANYAN et al. (1991). Nessas concentrações do nutriente, o teor de mentol foi mais alto. Houve, também, resposta significativa do teor de óleo à aplicação complementar de Zn nas plantas deficientes, mas o teor de mentol no óleo não foi alterado com as complementações.

SUBRAHMANYAN et al. (1991) sugeriram aplicações de Zn nas regiões de solos pobres no elemento e justificaram tal operação como responsável por uma maior disponibilidade de P para a planta.

Segundo NAIR et al. (1991), essas respostas da menta à aplicação de Zn são devidas às altas doses de NPK nos solos de origem calcária. Nesse trabalho, os autores chegam a recomendar aplicações de solução com 10ppm de sulfato de zinco.

2.4.6. Boro

A deficiência de Boro em *Mentha piperita* cultivada em solução nutritiva por FISCHER & HECHT-BUCHHOLZ (1985) causou, principalmente, má formação das paredes celulares das glândulas oleíferas, que ficaram muito delgadas ainda na fase inicial de formação. O citoplasma destas células mostrou severos sinais de degradação, quando ainda jovens, tornando-se semelhantes aos das células em senescência de plantas normais. As plantas com deficiência de B tem um curto período em que conseguem acumular o óleo essencial, o que afeta drasticamente o rendimento e levou os autores a recomendarem a aplicação do nutriente ao solo.

FISCHER & BUSSLER (1984) descreveram os mesmos efeitos do Boro nas glândulas oleíferas de *M. piperita*, além de alterações nos tecidos vasculares, que passaram a acumular substâncias escuras e a apresentar decréscimos na produção de óleo essencial.

Anteriormente, LEE & ARNOFF (1967), sugeriram que a deficiência de Boro teria um efeito inibidor sobre a enzima 6-fosfogluconato desidrogenase, o que resultaria em excesso de ácidos fenólicos, que por sua vez, causariam necrose de tecidos e até a morte da planta.

FAROOQI & MISRA (1983) observaram em *M. arvensis*, uma redução significativa na altura da planta da ordem de 30%. O número de perfilhos também foi reduzido de 21 nas plantas controle para 10 nas plantas deficientes.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Variedade utilizada e obtenção do material

A variedade IAC-701 da espécie *Mentha arvensis* foi a utilizada, por ser a mais adaptada às condições brasileiras, pela boa produção, teor de mentol e óleo, e pela resistência à ferrugem.

A variedade foi multiplicada nos canteiros da Seção de Plantas Aromáticas e Medicinais do Instituto Agronômico em Campinas SP, entre os meses de janeiro e maio de 1994. Os estolões utilizados no plantio foram colhidos e limpos no dia 2 de maio de 1994 e estocados em recipiente úmido durante um dia.

3.2 Plantio

O experimento foi instalado na casa de vegetação da Seção de Fertilidade do Solo do Instituto Agronômico, no Município de Campinas, SP, no dia 3 de maio de 1994.

Os recipientes utilizados para o plantio da menta foram vasos metálicos, revestidos com material inerte, com capacidade para 6 litros de quartzo moido, que foi enxaguado 15 vezes com água destilada durante a semana que precedeu a instalação do experimento.

Em cada vaso foram plantados 8 estolões com 3 gemas cada um, à profundidade de 2,5 cm, dispostos em círculos.

3.3. Tratamentos e soluções nutritivas

Após o plantio, cada vaso recebeu diariamente a solução nutritiva de seu tratamento, em quantidade suficiente para que começasse a drenar o excesso pelo orifício do fundo do vaso. As Tabelas 2 e 3 identificam e quantificam as soluções e os tratamentos aplicados.

Tabela 2: Composição das soluções em função dos tratamentos (ml/l).

SOLUÇÃO ESTOQUE M	completo	N	P	K	Ca	Fe	Zn	B
KH_2PO_4	1	1	-	-	1	1	1	1
KNO_3	5	-	5	5	3	5	5	5
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	5	-	5	5	-	5	5	5
MgSO_4	2	2	2	2	2	2	2	2
KCl	-	5	1	-	-	-	-	-
CaCl_2	-	5	-	-	-	-	-	-
$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	-	-	-	1	-	-	-	-
NH_4NO_3	-	-	-	2	5	-	-	-
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	-	-	-	-	-	-	-	-
$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$	-	-	-	-	-	-	-	-
Fe-EDTA*	1	1	1	1	1	-	1	1
micronutriente**	1	1	1	1	1	1	-	-
micro - Zn **	-	-	-	-	-	-	1	-
micro - B **	-	-	-	-	-	-	-	1

* Preparada de acordo com SARRUGE (1975)

* Ver composição na Tabela 3

Tabela 3: Composição das soluções estoque para os tratamentos de omissão de micronutrientes (g/l).

REAGENTES	TRATAMENTOS		
	Completo e sem Fe	sem Zn	sem B
H ₃ BO ₃	2,85	2,86	-
MnCl ₂ .4H ₂ O	1,81	1,81	1,81
ZnCl ₂	0,10	-	0,10
CuCl ₂	0,04	0,04	0,04
H ₂ MoO ₄ .H ₂ O	0,02	0,02	0,02

Os vasos que receberam tratamento sem nitrogênio, foram regados com solução completa durante 10 dias, entre 19 a 23 de maio e 13 a 17 de junho, pois a omissão completa do nutriente não permitia um desenvolvimento satisfatório para obtenção de material para as análises químicas e extração do óleo essencial.

3.4. Colheita das plantas

A parte aérea das plantas foi colhida entre os dias 19 e 20 de julho de 1994, com 77 e 78 dias de cultivo respectivamente, quando ainda não apresentavam, botões florais abertos, conforme o recomendado por SINGH & SINGH (1989). Esta época coincidiu, com a preconizada por SINGH & SINGH (1968a), que verificaram que por volta de 70 dias a *M. arvensis* cultivada em solução nutritiva e areia lavada apresentava o mais avançado estadio de maturação e o máximo acúmulo de óleo essencial.

A colheita prematura deveu-se ao início de infestação de oídio (*Oidium spp.*). Avaliou-se que adiantando alguns dias a colheita previniria que o experimento fosse prejudicado por alta infecção fúngica ou por contaminação do óleo essencial por algum produto químico a ser usado no controle da doença.

A colheita da parte aérea consistiu no corte do colo da planta próximo à areia. Procedeu-se em seguida a separação das partes, contagem, determinação da massa e do comprimento das folhas, hastes, brotações primárias e secundárias. Os diferentes órgãos foram embalados, secos em estufa com circulação forçada de ar a 65-70° C, e moídos para a análise química.

Os seguintes parâmetros de crescimento das plantas foram avaliados em cada vaso:

- Altura das hastes, do colo até o último par de folhas abertas, ou altura da planta;
- Comprimento das brotações laterais, medidas da inserção na haste principal até o último par de folhas abertas;
- Peso total das folhas;
- Peso de 50 discos para o cálculo da área foliar;
- Peso dos estolões e soma do comprimento de todos os estolões de cada vaso;
- Peso das raízes.

Somente uma parte das folhas foi separada para a determinação de massa seca e encaminhada ao laboratório para análise química. O restante foi embalado em sacos plásticos, identificado, comprimido manualmente para eliminação do ar interno e armazenados em congelador à temperatura de -15° C até o momento da extração do óleo essencial por arraste de vapor.

3.5. Doença bacteriana

As plantas tratadas com solução sem cálcio apresentaram sintomas típicos de ataque bacteriano, cuja confirmação se deu pela observação microscópica, apresentada na Figura 8.

Procedeu-se aos postulados de Koch, em hospedeiro sadio, em condições de casa de vegetação, para a confirmação de patogenicidade. Para identificação da bactéria foram realizados testes segundo as metodologias de LELLIOT & STEAD (1987) e SCHAAD (1988)..

3.6. Destilação do óleo

As folhas congeladas de cada vaso foram destiladas em aparelho de Clevenger durante uma hora. O início da destilação foi considerado o momento da condensação da primeira gota. O óleo coletado foi lacrado em ampolas de 1 ml e mantido em refrigerador até a análise cromatográfica.

3.7. Análise cromatográfica do óleo

O óleo essencial extraído das folhas de três repetições de cada tratamento, foi analisado no Laboratório de Produtos Naturais do Instituto de Química

da Universidade de Campinas (UNICAMP), em cromatógrafo de gás acoplado ao espectrômetro de massa (modelo HP 5970), dotado de coluna capilar DB-5 (25m X 0,25mm), com aumento de temperatura programada a 4°C/min de 50 a 170°C e 10°C/min de 170-270°C, injetor a 250°C e gás hélio de arraste com fluxo de 1ml/min.

O óleo essencial foi dissolvido em acetato de etila, para evitar que a água remanecente da destilação degradasse a coluna capilar do cromatógrafo. Amostras de 1 microlitro dessa mistura foram injetadas no aparelho para análise cromatográfica.

3.8. Análise química das plantas

As diferentes partes das plantas: folhas, hastes, rizomas e raízes, foram encaminhadas ao laboratório da Seção de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas do Instituto Agrônomo, Campinas, SP, para a determinação de B, N e obtenção de extratos para a análise dos demais nutrientes, segundo metodologia descrita por BATAGLIA et al. (1983).

Os extratos foram analisados pelo laboratório do Setor de Nutrição Mineral de Plantas do Departamento de Química da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz" em Piracicaba, SP, segundo metodologia descrita por SARRUGE & HAAG (1974).

3.9. Delineamento experimental e análise estatística

O experimento foi instalado e analisado em delineamento inteiramente casualizado, conforme recomendado por GOMES (1981), com 4 repetições de cada tratamento.

Os vasos foram redistribuídos semanalmente sobre a mesa da casa de vegetação, para se ter um melhor controle local e casualização.

Os resultados da qualidade do óleo essencial, obtidos nas análises cromatográficas foram avaliados por análise multidimensional conforme foi descrito por CANTAGREL & LABLAMQUIE (1986).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Sintomas visuais de deficiência

Nem todos os tratamentos de omissão apresentaram sintomas visíveis de deficiência. Somente os tratamentos sem nitrogênio, fósforo, potássio e cálcio apresentaram sintomas característicos, possíveis de observação durante a condução do experimento. A Figura 1 apresenta plantas com sintomas imediatamente antes da colheita.

As plantas tratadas com solução completa apresentaram desenvolvimento normal, com boa coloração, tamanho e brotações. Após 30 a 40 dias do plantio os vasos apresentavam-se completamente cobertos pelas plantas.

As plantas cultivadas sem nitrogênio apresentaram desenvolvimento muito reduzido desde o início da brotação. As folhas, amareladas, não apresentavam a pilosidade característica da espécie e ficaram mais arredondadas. As hastes não se desenvolveram, deixando a planta bastante baixa. Também não apresentavam brotações laterais, nem formação de estolões.

O pequeno desenvolvimento obtido, ocorreu somente após os períodos de aplicação da solução completa, necessária para se obter um mínimo de desenvolvimento. As Figuras 1 e 2 comparam o tratamento sem nitrogênio com os

demais tratamentos que apresentaram sintomas de deficiência e com o tratamento completo.

Durante o decorrer do experimento, as plantas tratadas sem fósforo apresentavam folhas menores, mas com a mesma coloração e pilosidade das folhas tratadas com solução completa. Na época da colheita, as folhas mais velhas começavam a desenvolver uma coloração marrom na face dorsal. A maior diferença das plantas deficientes ocorreu nas hastes, que ficaram mais avermelhadas e apresentavam raras e pequenas brotações laterais, conforme mostra a Figura 3. Muito semelhantes àquelas descritas por SINGH & SINGH (1968a).

As plantas que receberam solução nutritiva sem potássio apresentaram, desde o início da brotação, um desenvolvimento mais lento e hastes menores, com poucas brotações laterais; eram menores e com menos folhas do que as plantas do tratamento completo, similares às descritas por SINHA & SINGH (1984). Na época da colheita, os vasos tinham o aspecto da Figura 4.

As folhas das plantas deste tratamento, antes mesmo do desenvolvimento completo da primeira haste, ficaram mais arredondadas, com pouca pilosidade, mais brilhantes e apresentavam manchas necróticas, com cerca de 1mm de diâmetro, por todo o limbo.

A partir de 40 dias após o plantio, as manchas das extremidades das folhas situadas nas primeiras brotações, passaram a aumentar de tamanho, necrosando completamente as pontas e bordas das folhas mais velhas, tornando bastante característico o deslocamento do nutriente das folhas das brotações mais velhas para as folhas das brotações mais novas. A Figura 5 compara uma folha com esses sintomas e uma folha normal do tratamento completo.

O primeiro sintoma visual detectado nas plantas tratadas com solução sem cálcio foi o desenvolvimento de uma bacteriose, cujos sintomas apareceram inicialmente nas folhas mais velhas, na base da planta. A necrose desenvolvia-se a partir das nervuras centrais, encurvando as folhas e acabando por tomar toda a superfície e, posteriormente, toda a haste atacada, conforme pode ser vista na Figura 6.

Somente as plantas do tratamento sem cálcio sofreram ataque bacteriano. Algumas plantas desse tratamento não apresentaram o sintoma acima, porém todas as plantas tiveram um desenvolvimento menor quanto à altura das plantas e à área foliar, conforme se vê na Figura 7. Já no final do experimento, as últimas folhas emitidas das hastes sobreviventes ao ataque bacteriano, apresentavam pequeno desenvolvimento, sendo retorcidas e quebradiças e com coloração acinzentada. Alguns pares de folhas, mais velhas, desenvolveram uma clorose internerval bastante acentuada.

As plantas cultivadas com solução sem ferro apresentaram um desenvolvimento normal. Observou-se porém em algumas plantas, uma coloração avermelhada nos nós das hastes.

Somente uma haste, de todos os vasos cultivados com solução sem zinco, apresentou folhas retorcidas e com aparência muito semelhante às plantas cultivadas sem cálcio. Porém, não se observou folhas e internós menores, ou a clorose nos pares de folhas mais novos como descreveu MISRA & SHARMA (1991).

Os vasos tratados com solução sem boro, pareciam apresentar uma menor densidade de plantas, que, no entanto, não foi detectado nas medições após a colheita. Também não se observou internós menores, folhas arredondadas, nem clorose e necrose como os descritos por FISCHER & BUCHHOLZ (1988).

Figura 1. Plantas tratadas com solução nutritiva sem nitrogênio (1); sem fósforo (2); completa (3); sem potássio (4) e sem cálcio (5).

Figura 3. Plantas tratadas com solução nutritiva sem fósforo (1) e completa (2).

Figura 2. Plantas tratadas com solução nutritiva sem nitrogênio (1) e completa (2).

Figura 4. Plantas tratadas com solução nutritiva sem potássio (1) e completa (2).

4.2. Produção de material seco

4.2.1. Planta inteira

A produção média de toda a massa de material seco por vaso do tratamento completo foi de 32,09g, que diferiu significativamente dos tratamentos com omissão de K, Ca e N, conforme pode-se ver na Tabela 4. A queda significativa de produção de massa de material verde total observada por MISRA & SHARMA (1991), quando omitiram zinco da solução nutritiva, não foi detectada neste trabalho. O comportamento das plantas estudadas, em função da omissão de micronutrientes, foi mais próximo dos descritos por FAROOQI & MISRA (1983), que não detectaram diferenças estatisticamente significativas.

Tabela 4. Produção média de massa de material seco (g), produzido por vaso.

TRATAMENTOS									
Parte	Completo	sem N	sem P	sem K	sem Ca	sem Fe	sem Zn	sem B	DMS*
Folhas	10,6a	0,5d	5,5bc	5,8bc	3,3cd	8,3ab	9,1a	8,4ab	3,1
Hastes	6,7a	0,6c	2,7bc	1,7bc	2,1bc	4,1ab	6,7a	3,4abc	3,5
Estolões	11,2a	0,8d	7,0abc	3,6bcd	1,9cd	7,8abc	8,5ab	6,8abcd	6,2
Raízes	3,6abc	0,6c	4,9a	0,9c	1,8bc	4,3ab	3,0abc	4,1ab	3,1
Total	32,1a	2,5d	20,1abc	11,9bcd	9,1cd	24,5a	27,4a	22,7ab	12,0

* DMS = Diferença Mínima Significativa.

Obs.: Números seguidos da mesma letra nas linhas não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%.

Figura 5. Detalhe de folha com sintoma de deficiência de potássio, comparada com uma folha normal à esquerda.

Figura 6. Detalhe de planta tratada com solução sem cálcio, atacada por bactéria do gênero *Pseudomonas*.

Figura 7. Plantas tratadas com solução nutritiva sem cálcio (1) e completa (2).

Figura 8. Colônias de bactérias do gênero *Pseudomonas* saindo de tecido atacado (parte escura).

- Nas plantas do tratamento completo, as raízes foram responsáveis por somente 11,28% do total da massa de material seco produzido. Esta baixa proporção de raízes pode ser o motivo da menta ser considerada uma planta exigente em fertilidade. Havendo uma pequena quantidade de raízes para absorver os nutrientes necessários para uma grande quantidade massa de material verde, a planta necessita ter à sua disposição uma maior quantidade de nutrientes.

A Tabela 5 apresenta a proporção de cada órgão em cada tratamento. Pode-se notar que a omissão de alguns nutrientes favoreceram ou prejudicaram, proporcionalmente, o desenvolvimento de órgãos distintos.

Tabela 6. Relação entre a massa dos órgãos e a planta inteira (%) em função dos tratamentos.

TRATAMENTO	FOLHAS	HASTES	RAÍZES	ESTOLÃO
	%			
Completo	33	21	11	35
sem N	22	22	23	33
sem P	27	13	24	35
sem K	49	14	7	30
sem Ca	36	23	20	21
sem Fe	34	17	18	32
sem Zn	33	25	11	31
sem B	37	15	18	30

4.2.2. Folhas

A folha é o órgão de maior importância na planta, pois todo o óleo essencial encontra-se nela e a produção agrícola é também nela gerada. Neste experimento, as folhas representaram entre 49 e 22 do total da planta conforme mostra a Tabela 6.

O efeito da omissão de nutrientes nas folhas foi muito semelhante ao efeito na planta inteira, sendo que a omissão de fósforo teve na produção de folhas um efeito negativo mais significativo. A Tabela 4 mostra esse efeito, sendo importante considerar-se que o tratamento sem cálcio foi prejudicado não só pela ausência do nutriente, mas também pelo ataque de bactérias que mataram as folhas durante o desenvolvimento da planta.

Os resultados obtidos são semelhantes aos de SINGH & SINGH (1968a), que explicam a baixa produção das plantas tratadas sem nitrogênio e sem fósforo através do comprometimento da síntese de proteínas.

A área foliar e o número de pares de folhas foram proporcionais ao peso do material seco. O tratamento completo somou 4.511,08 cm² e o sem nitrogênio 205,40 cm². O número de pares de folhas por planta do tratamento completo foi de 28,81 e do tratamento sem nitrogênio de 6,40. Os níveis de significância foram idênticos ao de massa de material seco das folhas.

4.2.3. Hastes

O comportamento das hastes em relação aos nutrientes omitidos nos tratamentos foi muito semelhante ao das folhas. Nenhum dos micronutrientes omitidos não causaram efeitos significativos. A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos.

A importância desse órgão deve-se ao fato de ser o suporte das folhas, que têm interesse econômico, definem a altura da planta e a cobertura vegetal em função da suas brotações laterais. A Tabela 6 quantifica os resultados obtidos com esse órgão.

O tamanho da haste principal é que determina a altura da planta e, como pode-se notar na Tabela 6, ele foi significativamente menor nos tratamentos sem nitrogênio, potássio e fósforo.

O número de brotações laterais também foi um fator muito alterado em função da omissão de nutrientes. Na mesma tabela, observa-se que os três tratamentos que produziram plantas mais baixas também desenvolveram um menor número de brotações, cujo comprimento total também foi bem menor.

Os efeitos da omissão de micronutrientes sobre a altura e o número de hastes observados por FAROOQI & MISRA (1983), não foi detectado neste trabalho.

Tabela 6. Número e comprimento (cm) das hastes principais e das brotações laterais em função dos tratamentos.

TRATAMENTO	HASTE PRINCIPAL		BROTAÇÃO LATERAL	
	número/vaso	altura da planta (cm)	número/vaso	comprimento (cm)
Completo	14 ab	38,4 ab	12 a	393,3 abc
sem N	10 ab	9,8 e	0 d	0,0 c
sem P	15 a	27,3 cd	5 bcd	101,8 c
sem K	14 ab	23,5 d	3 cd	186,3 bc
sem Ca	8 b	30,9 bcd	8 abc	354,5 abc
sem Fe	15 a	34,9 abc	7 abc	427,0 abc
sem Zn	16 a	36,3 ab	9 abc	729,9 ab
sem B	12 ab	35,6 ab	8 abc	535,6 abc
DMS	7	7,7	6	582,4

Obs.: Números seguidos da mesma letra na vertical não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%.
DMS = Diferença Mínima Significativa.

4.2.4. Estolões

Os estolões são importantes não só como órgãos reprodutivos, mas também como órgãos de reserva. Neste experimento eles desenvolveram um tamanho

considerável, dentro dos vasos com 6 litros de volume, chegando a somar mais de 12m de comprimento.

O comprimento dos estolões foi diretamente proporcional à massa de material seco, e os valores obtidos estão na Tabela 4.

4.2.5. Raízes

Somente a omissão de potássio e de nitrogênio afetaram significativamente a produção de raízes em relação às plantas do tratamento completo. Deve-se notar que a omissão de fósforo prejudicou significativamente a produção de material seco de folhas e hastes, a altura e a brotação lateral da planta, mas não prejudicou a produção de raízes, conforme mostra a Tabela 4.

4.3. Teores de nutrientes

4.3.1. Folhas

A Tabela 7 apresenta os teores de nutrientes analisados nas folhas em função dos tratamentos que receberam. A folha de menta foi o órgão que apresentou a maior concentração de nutrientes. Somente os teores de P foram semelhantes aos teores médios encontrados em toda a planta (Tabela 11). Os demais nutrientes têm teores médios nas folhas mais elevados, principalmente os micronutrientes.

Tabela 7. Teores de nutrientes nas folhas em função dos tratamentos.

Nutrientes	TRATAMENTOS							DMS*
	Completo	sem P	sem K	sem Ca	sem Fe	sem Zn	sem B	
N	4,43cd	4,31d	4,71bc	5,30a	4,26d	5,02ab	4,77b	0,32
P	0,37c	0,18d	0,51a	0,44b	0,39bc	0,41bc	0,40b	0,06
K	4,21c	4,28c	0,45d	6,12a	4,08c	4,67b	4,21c	0,27
Ca	1,49cd	1,58b	1,95a	1,51cd	1,41d	1,57bc	1,40d	0,12
Mg	0,67de	0,71c	1,31a	0,64e	0,76bc	0,81b	0,72c	0,06
S	0,19bc	0,13d	0,18c	0,23a	0,20ab	0,23a	0,22a	0,4
Fe	432d	481c	504c	650a	550b	553b	417d	37
Zn	46b	68a	67a	58ab	31c	52b	49b	12
B	51e	49e	77b	132a	68c	64d	37f	4
Mn	56e	72de	131b	203a	65de	75d	70de	19
Cu	9de	11b	11b	14a	8e	11b	9cd	1

Macronutrientes expressos em %.

Micronutrientes expressos em ppm.

* DMS = Diferença Mínima Significativa.

Obs.: Números seguidos da mesma letra nas linhas não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%.

O desenvolvimento das plantas do tratamento sem nitrogênio foi tão afetado pela falta do nutriente, que não se conseguiu a quantidade de folhas necessárias para a análise química e para a destilação do óleo essencial. Como optou-se pela destilação somente das poucas folhas obtidas, não há resultados das concentrações de nutrientes nas folhas deste tratamento.

As folhas das plantas cultivadas na solução nutritiva sem fósforo tiveram um decréscimo significativo no teor de S. Nota-se que o teor de P nas folhas foi bastante estável em todos os tratamentos, com excessão dos tratamentos de omissão de fósforo e potássio. Neste último, o teor de P nas folhas foi significativamente superior ao tratamento completo. Já os teores dos micronutrientes Fe, Zn e Cu apresentaram um aumento significativo.

A omissão de potássio ocasionou aumento significativo na concentração de quase todos os nutrientes, com exceção do S. SINHA & SINGH (1984) mostraram dados semelhantes e determinaram que o aumento no teor de N deveu-se ao aumento de substâncias amoniacais nas folhas deficientes em K.

As plantas do tratamento sem cálcio apresentaram um aumento significativo na concentração de quase todos os nutrientes analisados, com exceção do Ca, P e Zn, sendo que estes dois últimos apresentaram uma tendência de maior concentração. As folhas com teores mais altos de N (5,30%), de todo o experimento, foram as deste tratamento.

A omissão de ferro na solução nutritiva ocasionou aumento nas concentrações de Mg, B e Fe nas folhas. É possível que falhas no revestimento interno dos vasos metálicos tenham sido responsáveis pelo fornecimento do nutriente. Já o Zn sofreu um decréscimo significativo semelhante aos resultados publicados por SUBRAHMANYAM et al. (1991).

As folhas das plantas cultivadas no tratamento sem zinco apresentaram 5,02% de N, um nível tão alto quanto o do tratamento sem cálcio. Houve ainda aumentos significativos nos teores de Mg, S, Fe, Mn, B e Cu, sendo os teores do próprio zinco, semelhantes aos teores do tratamento completo.

A omissão de boro da solução nutritiva alterou significativamente somente a concentração de B, que diminuiu, e a de N que aumentou, atingindo 4,77%.

4.3.2. Hastes

A Tabela 8 apresenta os teores médios dos nutrientes analisados nas hastes das plantas em função dos tratamentos que receberam. A pequena quantidade de material produzido no tratamento sem nitrogênio permitiu somente a determinação do teor de B, que foi significativamente maior que o do tratamento completo e de N, que apesar de ser bem menor, não diferiu do teor apresentado naquele tratamento.

Tabela 8 . Teores de nutrientes nas hastes em função dos tratamentos.

Nutrientes	TRATAMENTOS								DMS*
	Completo	sem N	sem P	sem K	sem Ca	sem Fe	sem Zn	sem B	
N	2,08c	0,80c	1,74c	2,47bc	4,66a	2,04c	4,26ab	2,26c	1,82
P	0,31b	n.d.	0,11c	0,32b	0,47a	0,33b	0,34b	0,33b	0,09
K	3,86bc	n.d.	2,72c	0,25d	6,02a	3,64bc	4,59b	4,36b	1,26
Ca	0,94b	n.d.	0,90bc	0,61d	0,82bc	0,82bc	0,77c	0,76cd	0,15
Mg	0,40bc	n.d.	0,34bcd	0,78a	0,33cd	0,44bc	0,49b	0,40bc	0,15
S	0,12b	n.d.	0,12b	0,14b	0,23a	0,14b	0,13b	0,14b	0,05
Fe	93bc	n.d.	80c	145a	140a	84c	123ab	87bc	37
Zn	27abc	n.d.	27abc	43a	37ab	14c	22bc	25abc	21
B	35b	55a	20de	30bc	24cde	25cd	23cde	15e	9
Mn	19b	n.d.	28b	35b	289a	20b	24b	23b	20
Cu	7abc	n.d.	8a	6abc	7ab	4bc	5abc	3c	3

Macronutrientes expressos em %.

Micronutrientes expressos em ppm.

n.d. = não determinado.

* DMS = Diferença Mínima Significativa.

Obs.: Números seguidos da mesma letra nas linhas não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%.

As hastes das plantas do tratamento sem fósforo, em comparação às do tratamento completo, apresentaram teores menores somente de B e de P.

A omissão do potássio na solução nutritiva provocou diminuição nos teores de Ca e K nas hastes e o aumento de Mg e Fe.

As plantas cultivadas no tratamento sem cálcio desenvolveram hastes mais pobres em B. Os nutrientes N, P, K, S, Fe e Mn, como havia ocorrido nas folhas,

aumentaram a concentração, destacando-se este último, que apresentou teor com 289ppm, enquanto nas plantas do tratamento completo apresentou 19ppm.

O teor dos nutrientes nas hastes das plantas cultivadas no tratamento sem ferro não foram diferentes das plantas do tratamento completo, exceto para B, que diminuiu.

A omissão do zinco na solução nutritiva, produziu hastes com teores maiores de N e Fe e menores em Ca e B que o tratamento completo.

A omissão de boro da solução nutritiva diminuiu significativamente o teor desse nutriente nas hastes bem como o teor de Ca.

4.3.3. Estolões

A Tabela 9 apresenta os teores de nutrientes analisados nos estolões, em função dos tratamentos que receberam. Os teores de Fe, Zn, B e Cu neste órgão foram maiores que na planta como um todo. Os demais nutrientes ocorreram em concentrações próximas das médias da planta inteira (Tabela 11).

Tabela 9. Teores de nutrientes nos estolões em função dos tratamentos.

TRATAMENTOS									
Nutrientes	Completo	sem N	sem P	sem K	sem Ca	sem Fe	sem Zn	sem B	DMS*
N	2,00bc	0,83d	1,77cd	2,80ab	3,35a	2,55abc	2,11bc	2,05bc	0,97
P	0,31b	0,31b	0,14c	0,38b	0,47a	0,38b	0,36b	0,36b	0,07
K	3,90ab	2,30c	3,14b	0,70d	4,28a	4,29a	4,17a	3,52ab	0,80
Ca	0,46b	0,46b	0,35c	0,66a	0,73a	0,47b	0,45bc	0,43bc	0,10
Mg	0,35bc	0,18e	0,26de	0,52a	0,30bcd	0,38b	0,34bcd	0,29cd	0,08
S	0,14abc	0,10c	0,13bc	0,17ab	0,19a	0,13bc	0,12bc	0,13bc	0,05
Fe	97b	142b	101b	124b	156ab	89b	114b	314a	160
Zn	17de	46a	21cde	31bc	40ab	12e	22cde	35b	10
B	33ab	24bc	17c	28abc	40a	31abc	31ab	22bc	14
Mn	3d	12bcd	6cd	18b	78a	8cd	5cd	13bc	9
Cu	6a	5a	6a	9a	8a	4a	5a	11a	9

Macronutrientes expressos em %.

Micronutrientes expressos em ppm.

* DMS = Diferença Mínima Significativa.

Obs.: Números seguidos da mesma letra nas linhas não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%.

A omissão do nitrogênio na solução nutritiva afetou a concentração de outros nutrientes nos estolões. Além do próprio N, que teve menos da metade da concentração dos estolões do tratamento completo, houve uma diminuição significativa nos teores de K e Mg, enquanto a concentração de Zn nesses tecidos apresentou um aumento de 16ppm no tratamento completo para 46ppm nesse tratamento.

A omissão do fósforo na solução nutritiva induziu à formação de estolões com concentrações mais baixas de Ca, Mg e B, além do próprio P.

Os estolões das plantas cultivadas no tratamento sem potássio, apesar de bem menores, apresentaram concentração mais elevada de Ca, Mg, Zn e Mn, mostrando que o acúmulo desses nutrientes pela planta sofreu um efeito de diluição. Já o teor de K diminuiu.

Somente a falta de nitrogênio afetou mais a produção de estolões do que a omissão de cálcio.

Os estolões das plantas tratadas com solução nutritiva sem cálcio apresentaram os teores de Ca mais elevado que os das tratadas com solução completa. Além do Ca, houve aumento nas concentrações de N, P, Zn e, principalmente, de Mn que passou de 3ppm nos estolões das plantas do tratamento completo para 78ppm nos estolões do tratamento sem cálcio, indicando uma possível estratégia da planta em concentrar nutrientes carentes nestes órgãos de reserva.

A omissão de boro na solução não afetou significativamente sua concentração nos estolões, mas aumentou os teores de Fe, Zn e Mn em relação aos estolões das plantas do tratamento testemunha.

Os estolões das plantas tratadas com soluções nutritiva sem ferro e sem zinco, não diferiram quanto aos teores dos nutrientes analisados dos obtidos nas plantas do tratamento completo.

4.3.4. Raízes

A Tabela 10 apresenta os resultados dos teores de nutrientes analisados nas raízes em função dos tratamentos que receberam. A pequena quantidade de matéria seca de raízes das plantas cultivadas com solução nutritiva sem nitrogênio, possibilitou a determinação somente dos teores de N e de B, sendo que este último foi significativamente maior que o do tratamento completo.

Tabela 10. Teores de nutrientes nas raízes em função dos tratamentos.

Nutrientes	TRATAMENTOS								DMS*
	Completo	sem N	sem P	sem K	sem Ca	sem Fe	sem Zn	sem B	
N	1,75bc	1,10c	2,00b	2,14b	2,89a	1,83b	2,05b	1,90b	0,66
P	0,68a	n.d.	0,11c	0,75a	0,68a	0,42b	0,68a	0,77a	0,19
K	3,25b	n.d.	4,03ab	0,38c	3,83ab	3,27b	4,23ab	3,82ab	1,40
Ca	1,77a	n.d.	1,10b	2,01a	0,53c	1,07b	1,92a	1,75a	0,52
Mg	0,28cde	n.d.	0,34bcd	0,60a	0,24de	0,36bc	0,39b	0,37bc	0,11
S	0,16bc	n.d.	0,13c	0,16bc	0,23a	0,19b	0,17b	0,13c	0,03
Fe	933b	n.d.	1496a	1188ab	1480a	951b	1083b	1000b	366
Zn	76cd	n.d.	174a	144ab	107bc	40d	103bc	137ab	54
B	31bc	39b	25cd	55a	43ab	34bc	37bc	13d	14
Mn	85def	n.d.	109cde	265a	121cd	53f	81ef	124c	36
Cu	82abc	n.d.	33cd	90ab	134a	51bcd	38bcd	20d	52

Macronutrientes expressos em %.

Micronutrientes expressos em ppm.

n.d. = não determinado.

* DMS = Diferença Mínima Significativa.

Obs.: Números seguidos da mesma letra nas linhas não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%.

A omissão de fósforo da solução nutritiva diminuiu os teores de P e Ca nas raízes enquanto os de Fe e Zn aumentaram significativamente.

Somente o teor de potássio foi significativamente menor no tratamento sem potássio, que nas raízes das plantas tratadas com solução completa. Os nutrientes Mg, Zn, B e Mn apresentaram maior concentração.

A omissão do cálcio diminuiu somente o teor do nutriente nas raízes enquanto aumentou os teores de N, S, B, Fe e Cu.

A omissão do ferro fez com que os teores nas raízes de P e Ca diminuíssem significativamente quando comparados com os do tratamento completo.

Somente o teor de Mg das raízes do tratamento sem Zn foi significativamente maior do que os das raízes do tratamento completo.

A omissão de boro afetou somente os teores de micronutrientes, aumentando significativamente os teores de Zn e Mn e diminuindo os de Cu e de B.

4.3.5. Planta inteira

O potássio foi o nutriente que se apresentou em maiores quantidades na planta do tratamento completo (3,93%). A Tabela 11 apresenta os teores dos nutrientes analisados em toda a planta em função dos tratamentos que receberam. Na tabela pode-se observar que os teores de nutrientes não sofreram tantas variações como quando se analisa os órgãos separadamente. Até mesmo grandes variações, como as das folhas por exemplo, são compensadas pelas outras partes quando se analisa a planta por inteiro.

Tabela 11. Teores médios de nutrientes na planta inteira em função dos tratamentos.

Nutrientes	TRATAMENTOS							DMS*
	Completo	sem P	sem K	sem Ca	sem Fe	sem Zn	sem B	
N	2,77cd	2,53d	3,66ab	4,31a	2,91cd	3,62ab	3,06bcd	0,70
P	0,37d	0,14e	0,46ab	0,50a	0,38d	0,40cd	0,44bc	0,05
K	3,93c	3,60c	0,49d	5,30a	3,92c	4,44b	3,92c	0,45
Ca	1,04c	0,95c	1,38a	1,01c	0,94c	1,07bc	1,09bc	0,16
Mg	0,46cd	0,41d	0,95a	0,42d	0,52bc	0,54b	0,48bcd	0,07
S	0,16b	0,13c	0,17b	0,22a	0,16b	0,17b	0,17b	0,02
Fe	302c	546ab	393bc	604a	399bc	369c	435bc	156
Zn	34cd	71a	59ab	59ab	23d	40c	56b	14
B	41d	35d	81b	99a	42d	45d	38d	15
Mn	31e	46cd	67b	157a	38de	38de	44cd	13
Cu	15b	14b	16b	35a	12b	11b	10b	9

Macronutrientes expressos em %.

Micronutrientes expressos em ppm.

* DMS = Diferença Mínima Significativa.

Obs.: Números seguidos da mesma letra nas linhas não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%.

As plantas cultivadas na solução sem fósforo apresentaram um aumento significativo nos teores dos nutrientes Fe, Zn e Mn e queda na concentração de S.

As plantas do tratamento sem potássio, que foram significativamente menores e com pequena produção de massa de material verde, foram mais ricas em todos os nutrientes, com excessão do B e do K, que tiveram teores menores na planta quando considerada por inteira.

Nas plantas do tratamento sem cálcio, que sofreram um severo ataque bacteriano, ocorreu o mais alto teor de N (4,31%) e de Fe (604ppm) de todo o experimento.

A omissão de zinco provocou aumento do teor médio de nitrogênio, potássio e magnésio na planta, que foram significativamente superiores que o das plantas do tratamento completo. Os demais nutrientes não apresentaram alterações nas suas concentrações.

Os teores de nutrientes nas plantas cultivadas nos tratamentos sem ferro não apresentaram diferenças significativas dos teores encontrados nas plantas do tratamento completo.

4.4. Quantidade de nutrientes

4.4.1. Folhas

A Tabela 12 apresenta a quantidade de nutrientes contidos nas folhas das plantas em função dos tratamentos que receberam. As folhas armazenaram aproximadamente metade de todos os nutrientes da planta e somente 20% do Cu.

Tabela 12. Quantidade de nutrientes nas folhas em função dos tratamentos.

Nutrientes	TRATAMENTOS							DMS*
	Completo	sem P	sem K	sem Ca	sem Fe	sem Zn	sem B	
N	467,7ab	236,3de	272,0cde	175,1e	352,3bcd	459,9ab	401,4abc	160,5
P	38,6a	9,9b	29,5a	14,5b	32,9a	37,0a	33,7a	14,7
K	444,5ab	234,5cd	25,7e	202,2d	356,6bcd	426,1ab	354,0bc	148,0
Ca	156,9ab	86,8cd	112,7bc	49,9d	118,2bc	142,7ab	118,0ab	54,2
Mg	70,8a	39,0cd	75,7a	21,1d	63,5ab	73,9a	60,2abc	21,8
S	20,1a	7,2c	10,1bc	7,6c	16,9ab	21,0a	18,5a	7,4
Fe	4560abc	2641d	2914cd	2147e	4540abc	5046ab	3515bcd	1772
Zn	486a	3734abc	390abc	192c	252bc	477a	412ab	201
B	592b	395b	754ab	671b	536b	679b	584b	374
Mn	543ab	271c	448bc	435bc	566ab	582ab	344bc	245
Cu	90abc	58cd	64cd	46d	64bcd	100ab	76abcd	396

Macronutrientes expressos em mg.

Micronutrientes expressos em µg.

* DMS = Diferença Mínima Significativa.

Obs.: Números seguidos da mesma letra nas linhas não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%.

Por falta de material, não foi possível a realização das análises químicas das folhas das plantas tratadas sem N e, conseqüentemente, a determinação da sua quantidade de nutrientes.

A omissão de fósforo da solução nutritiva reduziu significativamente a quantidade de todos os nutrientes contidos nas folhas, com excessão do Zn, Cu e Mn, mostrando a importância do nutriente na nutrição da planta.

Essa diminuição de extração não foi só em função da menor massa seca produzida pelas plantas, como nos casos do K, Ca e P, mas também em função da menor concentração de P e Fe.

A omissão do potássio reduziu o acúmulo dos macronutrientes nas folhas, excluindo o Mg. Conforme foi observado por SINHA & SINGH (1984), a alta concentração nas folhas é alcançada com uma pequena quantidade de nutrientes, pela pequena produção de massa de material seca e reduzida área foliar. Os micronutrientes já não foram tão afetados neste tratamento.

O tratamento sem cálcio foi o que mais diminuiu a quantidade de nutrientes nas folhas em relação ao tratamento completo. De todos os nutrientes somente o B e Mn não diferiram significativamente.

Deve-se considerar no entanto, o ataque bacteriano que as plantas desse tratamento sofreram, o que reduziu muito a quantidade de massa de material seco de folhas. Neste caso a quantidade de N nas folhas foi muito reduzida, embora sua concentração tenha sido bastante elevada.

A omissão de ferro não afetou a quantidade de nutrientes nas folhas, mas diminuiu significativamente a quantidade de Ca e Zn extraídos.

A omissão de boro diminuiu significativamente somente a quantidade desse nutriente nas folhas não se constatou a observação de FISHER & BUCHHOLZ (1985), que preconizaram uma menor quantidade de Ca nas plantas cultivadas com pouco B.

A omissão de zinco não afetou significativamente a quantidade de todos os nutrientes analisados.

4.4.2. Hastes

A Tabela 13 mostra as quantidades de nutrientes contidos nas hastes das plantas em função dos tratamentos que receberam. No tratamento com solução completa esse órgão continha entre 9% do Cu e 18% do Ca e Mg da planta inteira.

Tabela 13. Quantidade de nutrientes nas hastes em função dos tratamentos.

Nutrientes	TRATAMENTOS								DMS*
	Completo	sem N	sem P	sem K	sem Ca	sem Fe	sem Zn	sem B	
N	139,0ab	4,4b	45,7b	40,6b	101,8b	83,7b	276,8a	77,0b	170,0
P	20,8a	n.d.	2,8b	5,3b	10,2ab	13,3ab	22,2a	11,2ab	13,9
K	261,7ab	n.d.	71,0cd	4,0d	126,5bcd	152,1abcd	303,3a	147,7abcd	171,0
Ca	62,4a	n.d.	24,1bc	10,0c	17,5c	33,1abc	51,6ab	25,7bc	32,3
Mg	26,9ab	n.d.	8,9c	12,8bc	6,9c	18,5abc	32,6a	13,6bc	16,5
S	8,2ab	n.d.	3,3ab	2,2b	4,9ab	6,0ab	8,7a	4,8ab	6,0
Fe	624ab	n.d.	209c	234bc	294bc	348bc	824a	296bc	399
Zn	180a	n.d.	70b	70b	63b	54b	143ab	80b	94
B	235a	30,4c	54bc	49bc	47bc	102bc	153ab	52bc	119
Mn	124b	n.d.	70b	56b	615a	82b	155b	81b	303
Cu	43a	n.d.	19b	10b	14b	16b	33ab	11b	23

Macronutrientes expressos em mg.

Micronutrientes expressos em µg.

* DMS = Diferença Mínima Significativa.

Obs.: Números seguidos da mesma letra nas linhas não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%.

Além da menor concentração no tratamento sem nitrogênio, a baixa produção de massa de material seco de hastes das plantas desse tratamento, fez com que a quantidade de B nesse órgão fosse significativamente menor (8 vezes) do que nas plantas do tratamento completo. Apesar da quantidade de N nas hastes ter sido 35 vezes menor, não se observou diferença significativa devido ao alto coeficiente de variação.

O efeito da omissão de fósforo foi muito grande na produção de massa de material seco, o que fez com que o P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, B e Cu, fossem acumulados em quantidades significativamente menores nas hastes, semelhantes aos encontrados por SINGH & SINGH (1968a).

Assim como nos tratamentos sem fósforo e sem nitrogênio, a omissão de potássio fez com que a quantidade de material seco de hastes fosse pequena, diminuindo significativamente a quantidade dos nutrientes P, K, Ca, Zn, B e Cu contidos nas hastes em relação às plantas do tratamento completo.

A menor produção de massa de material seco do tratamento sem cálcio foi responsável pela menor quantidade de Ca, Mg, Zn, B e Cu contida nas hastes, porém ocorreu um significativo aumento na quantidade de Mn nesses tecidos em função da sua alta concentração.

A omissão de Fe na solução nutritiva não afetou significativamente nem a produção de massa de material seco das hastes, nem os teores de nutrientes, porém a quantidade de Zn, B e Cu foram significativamente menores nas hastes desse tratamento do que no tratamento completo.

No tratamento sem boro as quantidades de Ca, Zn, Cu e do próprio B, foram significativamente menores que as das hastes das plantas cultivadas com solução nutritiva completa. Segundo FISHER & BUCHHOLZ (1985), a menor quantidade de Ca estaria relacionada com a má formação de parede celular.

Não observou-se diferença significativa entre nenhum dos nutrientes analisados no tratamento sem Zn.

4.4.3. Estolões

As quantidades de nutrientes nos estolões da planta mostram que esse órgão é um importante armazenador de nutrientes. Enquanto seu peso em relação à planta inteira atinge cerca de 30%, alguns nutrientes alcançam uma relação ainda maior. Cerca de 35% do K e do S, por exemplo, encontra-se nos estolões. A Tabela 14 apresenta as quantidades de nutrientes presentes nesse órgão em função do tratamento que receberam.

Tabela 14. Quantidade de nutrientes nos estolões em função dos tratamentos.

TRATAMENTOS									
Nutrientes	Completo	sem N	sem P	sem K	sem Ca	sem Fe	sem Zn	sem B	DMS*
N	223,6a	6,7c	123,8abc	103,9abc	63bc	180,6ab	178,6ab	140,1ab	121,7
P	34,8a	2,5d	9,3cd	13,3bcd	8,8cd	29,1ab	29,5ab	25,2abc	18,3
K	440,0a	18,5b	219,4ab	24,8b	80,5b	338,4a	350,1a	238,9ab	241,1
Ca	51,3ab	3,7c	24,5abc	23,9bc	13,7c	36,6abc	38,1abc	29,4abc	37,5
Mg	39,1a	1,4c	18,2bc	18,4bc	5,6c	30,1ab	29,4ab	19,3abc	20,4
S	15,9a	0,8d	9,2abc	6,0bcd	3,6cd	9,7abc	10,5abc	9,1abc	8,1
Fe	1072abc	114c	748abc	451bc	293bc	671bc	947abc	1686a	963
Zn	184abc	37c	144abc	110abc	75bc	90abc	186abc	246a	157
B	369a	19c	124abc	102bc	75bc	241abc	276abc	174abc	267
Mn	31ab	10b	46ab	57ab	147a	58ab	35ab	84ab	120
Cu	61a	4c	39ab	31abc	15bc	29abc	45ab	52a	33

Macronutrientes expressos em mg.

Micronutrientes expressos em µg.

* DMS = Diferença Mínima Significativa.

Obs.: Números seguidos da mesma letra nas linhas não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%.

A omissão de nitrogênio na solução nutritiva ocasionou uma diminuição drástica na produção de material seco de estolões, resultando numa redução significativa na quantidade de todos os macronutrientes. Já os micronutrientes, apesar de ocorrerem em menor quantidade, não apresentaram diferenças significativas em relação ao tratamento completo, exceto B e Cu, devido ao alto coeficiente de variação obtido.

Com exceção do próprio fósforo e do magnésio, nenhum outro nutriente ocorreu em quantidades significativamente menores do que aquelas encontradas nos estolões das plantas cultivadas em solução nutritiva completa em relação aos estolões das plantas cultivadas sem fósforo.

O tratamento sem potássio produziu estolões com quantidades menores de P, Mg, S, B e do próprio K em relação ao tratamento completo, principalmente, pela pouca massa de material seco produzida.

Como nos tratamentos sem nitrogênio e sem potássio, os estolões do tratamento sem cálcio acumularam quantidades bem menores de todos os macronutrientes, B e Cu, devido à baixa produção de massa de material verde.

A omissão de ferro, zinco e boro, não causou nenhuma diferença significativa na quantidade de nutrientes contidos nos estolões.

4.4.4. Raízes

A Tabela 15 apresenta os resultados da quantidade de nutrientes nas raízes das plantas em função dos tratamentos que receberam. Por ser uma planta com sistema radicular pouco desenvolvido, a quantidade de nutrientes contido nelas é pequena.

Tabela 15. Quantidade de nutrientes nas raízes.

Nutrient	TRATAMENTOS								DMS*
	Completo	sem N	sem P	sem K	sem Ca	sem Fe	sem Zn	sem B	
e									
N	57,6abc	6,2c	98,5a	19,1bc	52,1abc	75,6ab	60,3abc	76,5ab	59,4
P	23,2b	n.d.	5,3c	6,7c	12,3bc	16,9abc	20,1abc	30,8a	15,1
K	112,3ab	n.d.	187,8a	3,4c	69,0bc	137,0ab	125,2ab	151,2ab	105,1
Ca	63,4a	n.d.	54,6ab	17,9bc	9,6c	41,1abc	55,3ab	71,5a	42,8
Mg	9,5ab	n.d.	15,9a	5,4b	4,3b	15,0a	11,1ab	14,8a	9,2
S	5,8ab	n.d.	6,5ab	1,4b	4,1ab	8,1a	5,0ab	5,4ab	5,8
Fe	3422ab	n.d.	7818a	1060b	2668b	4303ab	3216ab	4142ab	4760
Zn	254bc	n.d.	828a	129c	193c	147c	292bc	522ab	310
B	106ab	22b	124a	49ab	77ab	136a	107ab	53ab	92
Mn	308abc	n.d.	517a	237bc	218bc	199c	233bc	486ab	270
Cu	279a	n.d.	154abc	80bc	242ab	155abc	134abc	81bc	195

. Macronutrientes expressos em mg.

Micronutrientes expressos em µg.

* DMS = Diferença Mínima Significativa.

Obs.: Números seguidos da mesma letra nas linhas não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%.

Devido à pequena quantidade de raízes produzidas pelas plantas do tratamento sem nitrogênio, foi possível apenas a análise do N e do B desses tecidos. Esses dois nutrientes ocorreram em menor quantidade devido à pequena massa de material seco produzido, mas não houve diferença estatística quanto às suas quantidades em relação às plantas do tratamento completo.

A quantidade de nutrientes contida nas raízes das plantas do tratamento sem fósforo não apresentaram diferença estatisticamente significativa em relação ao tratamento completo, exceto P, que foi menor e Zn, que foi maior. Apesar da baixa concentração de Ca e Cu nesses órgãos, a maior produção de massa de material seco compensou a diferença.

A omissão de potássio na solução nutritiva causou uma queda significativa na quantidade de P, Ca e Cu, além do próprio K. Porém esta queda deveu-se mais à pequena produção de massa de material seco de raízes, que foi três vezes menor do que no tratamento completo, e não à concentração de nutrientes, que foi semelhante.

No tratamento sem cálcio, somente a quantidade do próprio cálcio nas raízes apresentou uma diferença estatisticamente significativa. Todos os demais nutrientes ocorreram em quantidades semelhantes ao do tratamento completo.

A omissão de ferro e de Zn não afetou a quantidade dos nutrientes presentes nas raízes.

As raízes cultivadas com solução nutritiva sem boro apresentaram quantidade de P significativamente maior e Cu menor do que as raízes das plantas do tratamento completo.

4.4.5. Planta inteira

A Tabela 16 apresenta as quantidades médias de nutrientes contidas nas plantas de cada vaso em função dos tratamentos que receberam. O K foi o nutriente extraído em maior quantidade pelas plantas, sendo seguido pelo N, Ca, Mg, P e S. Entre os micronutrientes, o Fe foi o mais extraído, seguido pelo B, Zn, Mn e Cu.

Tabela 17. Quantidade de nutrientes na planta inteira.

Nutrientes	TRATAMENTOS							
	Completo	sem P	sem K	sem Ca	sem Fe	sem Zn	sem B	DMS*
N	887,9a	504,4bc	435,7c	391,9c	692,3abc	975,6a	694,9abc	382,6
P	117,3a	27,3c	54,7bc	45,8c	92,1ab	108,8a	100,9a	44,9
K	1258,5a	713,2bc	57,9d	478,6cd	964,2abc	1204,8ab	891,8abc	500,3
Ca	334,1a	189,9bcd	164,5cd	90,7d	229,0abc	287,8ab	244,6abc	117,1
Mg	146,3a	82,0bc	112,4ab	38,0c	127,0ab	147,1a	107,9ab	55,3
S	49,9a	26,1bc	19,7c	20,2c	40,7abc	45,2ab	37,8abc	21,0
Fe	9678ab	11416a	4660b	5402ab	9861ab	10033ab	9639ab	6385
Zn	1104abc	1416a	698bc	523c	543c	1098abc	1260ab	587
B	1303ab	697b	954b	870b	1015ab	1215ab	864b	625
Mn	1006a	903a	797a	1416a	905a	1007a	994a	751
Cu	473a	269ab	185b	317ab	264ab	312ab	219b	239

Macronutrientes expressos em mg.

Micronutrientes expressos em µg.

* DMS = Diferença Mínima Significativa.

Obs.: Números seguidos da mesma letra nas linhas não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%.

Devido à pequena quantidade de material vegetal produzido no tratamento sem nitrogênio, não foi possível a determinação dos teores de nutrientes e o cálculo das quantidades extraídas pela planta.

Nas plantas tratadas com solução nutritiva sem fósforo, houve um decréscimo significativo nas quantidades extraídas de todos os macronutrientes. Deve-se notar porém, que a ausência de fósforo na solução nutritiva causou uma menor extração

de todos os macronutrientes, mas não diferiram significativamente do tratamento completo devido ao alto coeficiente de variação do experimento.

O K mostrou-se importante não só por ser o nutriente mais extraído pela planta, mas também pela sua influência na absorção de outros nutrientes. Sua omissão na solução causou uma significativa queda na quantidade absorvida de N, P, Ca, S, Cu e do próprio K, resultando em baixa produção de massa de material seco.

Devido ao ataque bacteriano não foi possível creditar os efeitos observados no tratamento sem cálcio somente à omissão do nutriente. Porém os efeitos foram bastante significativos, sendo este o único tratamento do experimento em que a quantidade de N foi superior à de K, havendo decréscimo nas quantidades extraídas de todos os macronutrientes e de Zn.

A omissão de ferro, zinco e do boro das soluções nutritiva não afetaram significativamente a extração de nenhum dos nutrientes analisados.

4.5. Doença bacteriana

As plantas que se desenvolveram em solução nutritiva sem cálcio, apresentaram encharcamento e amarelecimento dos tecidos das folhas, progredindo para manchas necróticas pardas, com posterior queda.

A inoculação artificial, por pulverização em folhas de plantas sadias, reproduziu a doença, confirmando a sua patogenicidade segundo os postulados de Koch.

Através de análises microbiológicas, verificou-se que se tratava de bactéria móvel, bastonetiforme, Gram negativa, oxidativa, catalase positiva, segundo as

metodologias de LELLIOT & STEAD (1987) e SCHAAD (1988), sendo caracterizadas no gênero *Pseudomonas*.

4.6. Qualidade do óleo essencial

A omissão dos nutrientes afetou significativamente a composição do óleo essencial da menta e conseqüentemente sua qualidade. Apesar do elevado coeficiente de variação obtido (50,59%), devido a diversas variáveis incontroláveis na extração e análise do óleo, quando se comparou o número de substâncias detectadas pela cromatografia, o tratamento que recebeu solução nutritiva completa diferiu estatisticamente dos demais, conforme mostra a Figura 14.

Estudos mais detalhados e com maior volume de plantas cultivadas, com melhores técnicas de extração, e que permitam um controle maior, talvez possam diferenciar sobre a quantidade de substâncias presentes no óleo essencial.

Devido ao elevado coeficiente de variação, não foi possível detectar a importância relativa entre os nutrientes omitidos, uma vez que foram igualadas as médias de 5 e 7 picos dos tratamentos sem nitrogênio e sem potássio, com os 29 picos do tratamento sem magnésio.

Figura 9. Número de picos cromatográficos obtidos nas análises de óleo essencial das folhas de menta cultivadas com solução nutritiva completa e com omissão de nutrientes. Barras sob letras iguais não diferem significativamente pelo teste de Tuckey a 5%. DMS = Diferença Mínima Significativa.

A Figura 10 mostra os cromatogramas típicos de cada um dos tratamentos. As diferenças entre os picos representam as diferenças entre as composições do óleo essencial de cada tratamento.

Apesar da grande variação observada na cromatografia, para facilidade de análise, serão analisados somente as variações dos teores de limoneno, mentona, mentol e metil acetato.

Figura 10. Cromatogramas obtidos nas análises do óleo essencial das folhas de menta cultivadas com solução nutritiva completa e com omissão de nutrientes.

Na espectrometria de massa do cromatograma do óleo do tratamento completo, os picos com tempo de retenção de 6,649 min, 10,498 min, 11,777 min e 15,382 min, foram determinados como limoneno, mentona, mentol e metil acetato, respectivamente. A Figura 11 mostra a espectrometria obtida dessas substâncias no cromatograma do tratamento completo da Figura 10.

Figura 11. Espectrometria de massa dos picos relativos às substâncias limoneno, mentona, mentol e metil acetato.

4.6.1. Análise multidimensional

Os picos cromatográficos representam as substâncias que a coluna do aparelho foi capaz de separar. Isômeros de uma mesma substância geram picos diferentes, mas não alteram necessariamente a qualidade do óleo. Por isso para as análises multidimensionais os isômeros foram integrados e analisados como uma substância única.

As Figuras 12 e 13, seguiram metodologia de CANTAGREL & LABLAMQUIE (1986) e indicam, pelo afastamento e agregamento das substâncias em

relação às concentrações das substâncias, que o fornecimento de solução completa às plantas, proporcionou um óleo com teores mais altos de limoneno e mentona e mais baixos em mentol e metil acetato.

Figura 12. Dispersão das concentrações de limoneno e mentol nos óleos em função da omissão de nutrientes. Os números indicam as soluções utilizadas: 1 = completa; 2 = sem nitrogênio; 3 = sem fósforo; 4 = sem potássio; 5 = sem cálcio; 6 = sem ferro; 7 = sem zinco e 8 = sem boro.

Figura 13. Dispersão das concentrações de mentona e metil acetato nos óleos em função da omissão de nutrientes. Os números indicam as soluções utilizadas: 1 = completa; 2 = sem nitrogênio; 3 = sem fósforo; 4 = sem potássio; 5 = sem cálcio; 6 = sem ferro; 7 = sem zinco e 8 = sem boro.

A omissão dos nutrientes, principalmente do nitrogênio (Figura 10), foi o que mais afetou a qualidade do óleo e teve diferentes efeitos sobre as quatro substâncias, aumentando os teores de mentol e metil acetato e diminuindo os de limoneno e mentona.

4.6.2. Limoneno

A espectrometria de massa do pico cromatográfico com tempo de retenção de 6,649 min, apresentada na Figura 11 determinou que a substância é o limoneno.

O nitrogênio foi o nutriente cuja omissão afetou mais o limoneno, eliminando-o completamente do óleo essencial. Outros nutrientes também tiveram um efeito significativo, conforme pode ser observado na Figura 14, assim, a omissão do zinco e do potássio também diminuíram o teor de Limoneno.

Figura 14. Percentagem de limoneno no óleo das folhas de menta em função dos tratamentos. Barras sob letras iguais não diferem significativamente pelo teste de Tuckey a 5%. DMS = Diferença Mínima Significativa.

4.6.3. Mentona

O teor de mentona diminuiu com a omissão de nitrogênio e de magnésio na solução nutritiva, comportando-se de modo semelhante ao descrito por SINGH & SINGH (1989) para nitrogênio e FAROOQI & MISRA (1983) para magnésio. Mesmo apresentando um baixo coeficiente de variação entre as repetições, a omissão dos demais nutrientes não provocou diferenças significativas em relação ao tratamento completo conforme mostra a Figura 15.

A importância da mentona tende a ser cada vez maior, pois cada vez mais é utilizada e seu preço tem alcançado valores mais interessantes que o próprio mentol, conforme indica a publicação de CLARK (1994).

Figura 15. Percentagem de mentona no óleo das folhas de menta em função dos tratamentos. Barras sob letras iguais não diferem significativamente pelo teste de Tuckey a 5%. DMS = Diferença Mínima Significativa.

4.6.4. Mentol

O mentol é a substância encontrada em maior quantidade na composição do óleo essencial da *M. arvensis*, sendo que a variedade IAC-701 foi melhorada com o objetivo de produzir óleo com altos teores dessa substância (SANTOS et al., 1993).

O teor médio de mentol obtido no experimento foi de 62,21% , sendo que o menor valor (56,14%) ocorreu no tratamento com solução nutritiva completa, que se distinguiu significativamente dos tratamentos sem zinco e sem fósforo, que produziram óleo com 69,17% e 68,89% de mentol respectivamente (Figura 16).

Devido à grande proporção de mentol no óleo, o coeficiente de variação foi o mais baixo de todo o ensaio (6,81). Porém, mesmo com este baixo coeficiente, não foi possível determinar as variações significativas detectadas por MISRA & SHARMA (1991a) e SRIVASTAVA & LUTHRA (1993), quando omitiram o ferro da solução nutritiva e nem na omissão de zinco citada por MISRA & SHARMA (1991b) e SUBRAHMANYAM et al. (1991). As variações no teor de mentol em função da omissão de nutrientes neste trabalho, foram mais próximas aos dos obtidos por FAROOQI & MISRA (1983) trabalhando com micronutrientes.

Figura 16. Percentagem de mentol no óleo das folhas de menta em função dos tratamentos. Barras sob letras iguais não diferem significativamente pelo teste de Tuckey a 5%. DMS = Diferença Mínima Significativa.

4.6.5. Metil acetato

A omissão do nitrogênio, do cálcio e do potássio na solução nutritiva fez com que os teores de metil acetato fosse até três vezes maior do que no óleo das plantas que receberam solução completa. No trabalho de SINGH & SINGH (1989), a diminuição da quantidade de nitrogênio fornecida dobrou a quantidade dessa substância. A Figura 17 mostra as diferenças significativas que a Figura 13 indica.

Figura 17. Percentagem de metil acetato no óleo das folhas de menta em função dos tratamentos. Barras sob letras iguais não diferem significativamente pelo teste de Tuckey a 5%. DMS = Diferença Mínima Significativa.

5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitiram chegar-se às seguintes conclusões:

- A omissão dos macronutrientes nitrogênio, fósforo, potássio e cálcio, reduziu significativamente a produção de massa de material verde da planta inteira;
- As proporções de limoneno, mentona, mentol e metil acetato do óleo essencial da *Mentha arvensis* são alteradas pelas condições de nutrição da planta.
- As soluções nutritivas podem ser utilizadas para a obtenção de óleos com diferentes proporções desses metabólitos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

BRODERICK, J.J. *Mint. Perfumer & Flavorist*, Wheaton, 18: 51-2, Jan/Feb. 1993.

CANTAGREL, R. & LABLAMQUIE, O. Application de l'analyse statistique multidimensionnelle à la classification des huiles essentielles. **Cahiers du Centre D'Exprementation Agriculture Montagne Sèche**, Digne les Bains, 1: 77-99, 1986.

CHARLES, D.J.; JOLY, R.J.; SIMON, J.E. Effects of osmotic stress on the essential oil content and composition of

- peppermint. **Phytochemistry**, Oxford, 29(9): 2837-40, 1990.
- CLARK, G.S. Menthol. **Perfumer & Flavorist**, Wheaton, 13: 37-46, Oct./Nov. 1988.
- CLARK, G.S. Mentone. **Perfumer & Flavorist**, Wheaton, 19: 41-45, May./June. 1994.
- CLARK, R.J. & MENARY, R.C. Effects of photoperiod on the yield and composition of peppermint oil. **Journal of the American Society for Horticultural Sciences**, Alexandria, 104(5): 699-702, 1979.
- CONN, E.E. Preface. In: CONN, E.E., ed. **The biochemistry of plants; secondary plant products**. New York, Academic Press, 1981. v. 7, p.xix-xx.
- DONALÍSIO, M.G.R.; PINTO, A.J.D.; SOUZA, C.J. Variação na resistência à ferrugem e na composição do óleo essencial de dois clones de menta. **Bragantia**, Campinas, 4(2): 541-7, 1985.
- DUHAN, S.P.S.; SINGH, V.P.; BHATTACHRYA, A.K.; HUSAIN, A. Response of japanese mint (*Mentha arvensis* L.) to

different irrigation schedules. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF ESSENTIAL OILS, 7. Kyoto, 1977. **Proceedings.** Kyoto, Japan Flavor and Fragrance Manufactores' Association, 1977. p. 143-5.

FAROOQI, A.H.A. & MISRA, A. Effect of micronutrients on oil content and plant growth in *Mentha arvensis* L. var. *piperascens* Mal. **Indian Journal of Plant Physiology**, New Delli **26**(2): 230- 3, June. 1983.

FINNEMORE, H. **The essential oils.** London, Ernest Benn, 1926. 880p.

FISCHER, G. & BUSSLER, W. Mikrosymptome des Bor-mangels an *Mentha piperita* L. **Z. Pflanzenernaehr**, Bodenk, **147**: 13-20, 1984.

FISCHER, G. & HECHT-BUCHHOLZ, C. The influence of boron deficiency on glandular scale development and structure in *Mentha piperita*. **Planta Medica**, Stuttgart **5**: 371-377, 1985.

GREENHALG, P. **The markets for mint oils and menthol.** London, Tropical Products Institute, 1979. 171p.

GOMES, F.P. **Curso de estatística experimental**. Piracicaba, Livraria Nobel, 1981. 430p.

GUENTHER, E. **The essential oils**. New York, D. van Nostrand, 1949. 3 v.: Individual essential oils of the plant families Rutaceae and Labiatea, 777p.

HERALTH, H.M.W.; IRUTHAYATHAS, E.E.; ORMROD, D.P. Temperature effects on essential oil composition of citronella selections. **Economic Botany**, New York, **33**(4): 425-30, 1979.

HUET, R. L'huile essentielle de menthe au Brésil. **Fruits**, Paris, **27**(6): 469-72, 1972.

KHERA, K.L.; SINGH, B.; SANDHU, B.S.; AUJLA, T.S. Response of japanese mint to nitrogen, irrigation and straw mulching on a sandy-loam soil of Punjab. **Indian Journal of Agricultural Sciences**. New Delhi, **56**(6): 434-8, June. 1986.

KIEFER, H. Exploração de plantas aromáticas e óleos essenciais. In: SIMPÓSIO DE ÓLEOS ESSENCIAIS, 1. , São Paulo, 1985. **Anais**. Campinas, Fundação Cargill, 1986. p. 15-20.

KOTHARI, S.K.; SINGH, V.; SHINGH, K. Effect of rates and methods of phosphorus application on herb and oil yields and nutrient concentrations in japanese mint (*Mentha arvensis* L.). **Journal of Agricultural Science, Cambridge**, **108**(3): 691-3, 1987a.

KOTHARI, S.K.; SINGH, V.; SHINGH, K. Response of japanese mint (*Mentha arvensis*) to varing levels of nitrogen aplication in Uttar Pradesh foot-hills. **Indian Journal of Agricultural Sciences**, New Delhi, **57**(11): 795-800, Nov. 1987b.

LEE, S. & ARNOFF, S. Boron in plants: a biochemical role. **Science**, Washington, **158**: 798-799, 1967.

LELLIOTT, R.A. & STEAD, D.E. Methods for the diagnosis of bacterial diseases of plants. In: PREECE, T.F., ed. **Methods in plant pathology**. Oxford, Blackwell Scientific, 1987. 2 v.: p1-200p.

LIMA, A.R. & MOLLAN, T.R.M. Nova variedade de *Mentha arvensis* L. **Bragantia**, Campinas, **12**: 277-84, 1952.

MAIA, N.B.; BOVI, O.A.; DUARTE, F.R. Obtenção e análise do óleo essencial de gengibre; efeito de secagem e processamento. **Bragantia**, Campinas, 50(1): 83-92, 1991.

MASSADA, Y. **Analysis of essential oils by gas chromatography and mass spectrometry**. New York, Halsted Press, 1976. 334p.

MISRA, A. Ultrastructural changes in mesophyll chloroplast of japanese mint (*Mentha arvensis* L.) under the disorder of Iron nutrition. **Photosynthetica**, Praha, 24(1): 163-167, 1990.

MISRA, A. & SHARMA, S. Critical concentration of Iron in relation to essential oil yield and quality parameters of japanese mint. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, 37(2): 185-92, 1991a.

MISRA, A. & SHARMA, S. Critical Zn concentration for essential oil yield and menthol concentration of japanese mint. **Fertilizer Research**, The Hague, 29: 261-265, 1991b.

NAIR, A.K.; SUBRAMANYAM, K.; VERMA, B.S.; SINGH, D.V. Effect of level of fertility, iron and zinc on herbage

yield and menthol content of japanese mint (*Mentha arvensis* subsp. *haplocalyx* var. *piperascens*). **Indian Journal of Agricultural Sciences**, New Delhi, **61** (8): 599-600, Aug. 1991.

RAM, M.; YADAV, R.L.; CHATTERJEE, B.N.; SINGH, D.V. Relative efficacy of nitrogen-carriers at different rates and times of application on growth and yield of japanese mint (*Mentha arvensis*). **Indian Journal of Agricultural Sciences**, New Delhi, **59**(4): 236-41, Apr. 1989.

SANTOS, S.R. Menta. In: FURLANI, A.M.C. & VIEGAS, G.P., ed. **O melhoramento genético de plantas no Instituto Agronômico**. 19.ed. Campinas, Instituto Agronômico, 1993. v. 1, cap. 9, p.355-62.

SARRUGE, J.R. & HAAG, H.P. **Análises químicas em plantas**. Piracicaba, USP/ESALQ, 1974. 55p.

SARRUGE, J.R.; Soluções nutritivas. **Summa Phytopathologica**, Piracicaba, **1**(3): 231-3, 1975.

SCHAAD, N.W. **Laboratory guide for identification of plant pathogenic bacteria**. St. Paul, The American Phytopathological Society, 1988. 158p.

SINGH, A.K.; DIKSHIT, A.; DIXIT, S.N. Fungitoxic properties of essential oil of *Mentha arvensis* var. *piperascens*. **Perfumer & Flavorist**, Wheaton, **8**: 55-8, Feb./Mar. 1983.

SINGH, J.N. & SINGH, D.P. Effect of phosphorus deficiency on carbohydrate metabolism of *Mentha arvensis*. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, **21**: 1341-1347, 1968a.

SINGH, J.N. & SINGH, D.P. Studies in the mineral nutrition of japanese mint; I influence of phosphorus deficiency on nitrogen metabolism. **Plant and Soil**, The Hauge, **28(2)**: 363-71, Apr. 1968b.

SINGH, S.P.; CHAND, L.; NEGRI, S.; SINGH, A.K. Antibacterial and antifungal activities of *Mentha arvensis* essential oil. **Fitoterapia**, Milano, **63(1)**: 76-8, 1992.

SINGH, V.P. & SINGH, D.V. Accumulation pattern of chemical constituents in mentha species with advance of crop age and nitrogen level. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MEDICINAL AROMATIC AND SPICES PLANTS, 5., Darjeeling,

1985. **Acta Horticulturae**, Wageningen, **188A**: 187-9, 1989.

SINHA, N.C. & SINGH, J.N. Studies in the mineral nutrition of japanese mint; II. Influence of potassium deficiency and seasonal variations on nitrogen metabolism, respiration rate and essential oil content. **Plant and Soil**, The Hague, **79**(1): 51-9, 1984.

SRIVASTAVA, N.K. & LUTHRA, R. The relation between primary and secondary metabolism in peppermint under Fe-stress. **Journal of Essential Oil**, Wheaton, **5**: 525-534, Sept./Oct. 1993.

SUBRAHMANYAM, K.; NAIR, A.K.; CHATTOPADHYAY, A.; SINGH, D. Effect of Zinc on yield, quality and nutrient composition of japanese mint and availability of nutrients in soil. **Journal of the Indian Society Soil Science**, New Delhi, **39**: 399-401, 1991.