

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU**

**DESENVOLVIMENTO, TROCAS GASOSAS, RENDIMENTO E COMPOSIÇÃO DE  
ÓLEO ESSENCIAL DE *Mentha piperita* L CULTIVADA EM SOLUÇÃO NUTRITIVA  
COM VARIAÇÃO DOS NÍVEIS DE N, P, K E Mg**

**Evelize de Fátima Saraiva David**

Tese apresentada a Faculdade de Ciências  
Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu,  
para obtenção do título de Doutor em Agronomia,  
Área de Concentração em Horticultura

BOTUCATU  
Outubro-2007

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU**

**DESENVOLVIMENTO, TROCAS GASOSAS, RENDIMENTO E COMPOSIÇÃO DE  
ÓLEO ESSENCIAL DE *Mentha piperita* L CULTIVADA EM SOLUÇÃO NUTRITIVA  
COM VARIAÇÃO DOS NÍVEIS N, P, K E Mg**

**Evelize de Fátima Saraiva David**

**Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Carmen Sílvia Fernandes Boaro**

**Co-orientador: Prof. Dr. Gustavo Habermann**

Tese apresentada a Faculdade de Ciências  
Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu,  
para obtenção do título de Doutor em Agronomia,  
Área de Concentração em Horticultura

BOTUCATU

Outubro-2007

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

S243d David, Evelize de Fátima Saraiva, 1970-  
Desenvolvimento, trocas gasosas, rendimento e composição de óleo essencial de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com variação dos níveis de N, P, K e Mg / Evelize de Fátima Saraiva David. - Botucatu : [s.n.], 2007.  
xv, 132 f. : il. color., gráfs., tabs.

Tese (Doutorado)-Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2007  
Orientador: Carmen Silvia Fernandes Boaro  
Co-orientador: Gustavo Habermann  
Inclui bibliografia

1. Fotossíntese. 2. Hidroponia. 3. Minerais na nutrição de plantas. 4. Hortelã pimenta. I. Boaro, Carmen Silvia Fernandes. II. Habermann, Gustavo. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. IV. Título.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"**  
**FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS**  
**CAMPUS DE BOTUCATU**

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO: DESENVOLVIMENTO, TROCAS GASOSAS, RENDIMENTO E COMPOSIÇÃO DE ÓLEO ESSENCIAL DE *Mentha piperita* L CULTIVADA EM SOLUÇÃO NUTRITIVA COM VARIAÇÃO DOS NÍVEIS DE N, P, K E Mg.**

ALUNA: EVELIZE DE FATIMA SARAIVA DAVID

ORIENTADORA: PROFA. DRA. CARMEN SILVIA FERNANDES BOARO

Aprovado pela Comissão Examinadora

  
\_\_\_\_\_  
PROFA. DRA. CARMEN SILVIA FERNANDES BOARO

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. JOÃO DOMINGOS RODRIGUES

  
\_\_\_\_\_  
PROFA. DRA. MARCIA ORTIZ MAYO MARQUES

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. VANDEIR FRANCISCO GUIMARÃES

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. JOSÉ ABRAMO MARCHESE

Data da Realização: 19 de dezembro de 2007.

## Dedico

Aos meus pais **Ediceu** e **Mariza** que com seu amor, carinho e dedicação me deram à oportunidade da educação e me ensinaram a buscar sempre com dignidade as pequenas e grandes coisas da vida com muita coragem, determinação e amor.

Ao meu esposo **Gianmarco**, que participou de cada etapa desta jornada, me dando sempre apoio, amor e constante carinho. E aos meus filhos **Yuri** e **Bruno** pela compreensão dos momentos de retiro para a realização desse trabalho.

## AGRADECIMENTOS

A todos que direta e indiretamente contribuíram para a realização desse trabalho e especialmente

À Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Carmen Sílvia Fernandes Boaro, pela orientação, sugestões, eficiência, sensibilidade e amizade durante esse período que trabalhamos juntas.

Ao Prof. Dr. Gustavo Habermann, pela co-orientação, ajuda e apoio.

A Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Martha M. Mischan, pela orientação e apoio durante as análises estatísticas.

À Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Romy Goto, pela constante ajuda e apoio.

Ao Prof. Dr. Antônio Ismael Inácio Cardoso, pela constante ajuda e apoio.

Ao Prof. Dr. João Domingos Rodrigues, pela constante ajuda e apoio.

À Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Márcia Ortiz Mayo Marques, pela amizade, dedicação e apoio na realização das análises fitoquímicas dos óleos essenciais.

Aos colegas e amigos, Maria Cristina, Leandro e Lina pelo carinho, amizade, paciência e ajuda em cada fase desta jornada.

Ao funcionário acadêmico do Departamento de Botânica, José Eduardo Costa, pela ajuda em todas as fases do trabalho, sempre prestativo e amigo.

À Universidade Estadual Paulista, em especial ao corpo docente da Faculdade de Ciências Agronômicas, Departamento de Horticultura e ao Instituto de Biociências, Departamento de Botânica, pela formação acadêmica e pela oportunidade de realizar este curso.

A CAPES, pelo importante apoio financeiro.

Eu agradeço

**SUMÁRIO**

SUMÁRIO.....	VII
LISTA DE TABELAS .....	IX
LISTA DE FIGURAS .....	XIII
Resumo .....	17
Summary.....	19
1. Introdução.....	21
2. Revisão de Literatura.....	23
5. Material e Métodos.....	36
5.1. Local e Clima .....	36
5.2. Material vegetal.....	36
5.3. Tratos fitossanitários .....	39
5.4. Colheita e preparo do material .....	42
5.4.1. Determinações fisiológicas.....	42
5.4.2. Medidas de trocas gasosas.....	45
5.4.3. Rendimento e Composição do óleo essencial.....	47
5.4.4. Determinação dos teores de nutrientes .....	48
5.5. Delineamento experimental.....	49
5.6. Análise estatística dos resultados .....	49
6. Resultados e Discussão.....	51
6.1. Comprimento de parte aérea.....	51
6.2. Área foliar.....	54
6.3. Massa seca de raízes .....	56
6.4. Massa seca de caule e pecíolos.....	59



6.5. Massa seca de lâminas foliares .....	61
6.6. Massa seca total .....	63
6.7. Razão de massa foliar .....	65
6.8. Distribuição de massa seca para raízes.....	67
6.9. Distribuição de massa seca para caule e pecíolos.....	69
6.10. Distribuição de massa seca para lâminas foliares.....	71
6.11. Taxa assimilatória líquida.....	73
6.12. Taxa de crescimento relativo .....	75
6.13. Razão de área foliar .....	77
6.14. Área foliar específica.....	79
6.15. Assimilação de CO <sub>2</sub> (A).....	81
6.16. Transpiração (E) .....	86
6.17. Concentração intercelular de CO <sub>2</sub> (C <sub>i</sub> ).....	89
6.18. Condutância estomática (g <sub>s</sub> ).....	92
6.19. Ponto de compensação de CO <sub>2</sub> (P <sub>tC<sub>e</sub></sub> ) .....	96
6.20. Resistência estomática (S%).....	98
6.21. Eficiência de carboxilação da enzima Rubisco .....	100
6.22. Rendimento de óleo essencial.....	102
6.23. Composição de óleo essencial .....	105
6.24. Teor de mentol.....	108
6.25. Teor de mentona .....	110
6.26. Teor de mentofurano .....	112
6.27. Teor de acetato de mentila.....	114
6.28. Teor de macro e micronutrientes .....	116
7. Considerações Finais .....	118
8. Conclusões.....	121
9. Referências Bibliográficas.....	122

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Tratamentos a que foram submetidas plantas de <i>Mentha piperita</i> L., durante seu de desenvolvimento. Compostos utilizados, soluções estoques ( $\text{g L}^{-1}$ ), composição das soluções nutritivas ( $\text{mL L}^{-1}$ ) e quantidades de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio fornecidas às plantas ( $\text{mg L}^{-1}$ ).....	38
<b>Tabela 2.</b> Análise de variância e comparação entre médias de comprimento de parte aérea, em cm, de <i>Mentha piperita</i> L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. ....	53
<b>Tabela 3.</b> Análise de variância e comparação entre médias de área foliar, em $\text{dm}^2$ , de <i>Mentha piperita</i> L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005.....	55
<b>Tabela 4.</b> Análise de variância e comparação entre médias de massa seca de raízes, em g, de <i>Mentha piperita</i> L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. ....	58
<b>Tabela 5.</b> Análise de variância e comparação entre médias de massa seca de caule mais pecíolos, em g, de <i>Mentha piperita</i> L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. ....	60
<b>Tabela 6.</b> Análise de variância e comparação entre médias de massa seca de lâminas foliares, em g, de <i>Mentha piperita</i> L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. ....	62
<b>Tabela 7.</b> Análise de variância e comparação entre médias de massa seca total, em g, de <i>Mentha piperita</i> L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. ....	64

<b>Tabela 8.</b> Análise de variância e comparação entre médias de razão de massa foliar, de <i>Mentha piperita</i> L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. ....	66
<b>Tabela 9.</b> Análise de variância e comparação entre médias de distribuição de massa seca para raízes, em %, de <i>Mentha piperita</i> L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. ....	68
<b>Tabela 10.</b> Análise de variância e comparação entre médias de distribuição de massa seca para caule mais pecíolos, em %, de <i>Mentha piperita</i> L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. ....	70
<b>Tabela 11.</b> Análise de variância e comparação entre médias de distribuição de massa seca para lâminas foliares, em %, de <i>Mentha piperita</i> L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. ....	72
<b>Tabela 12.</b> Taxa assimilatória líquida ( $\text{g dm}^{-2}\text{dia}^{-1}$ ) de <i>Mentha piperita</i> L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. ....	74
<b>Tabela 13.</b> Taxa de crescimento relativo ( $\text{g g}^{-1}\text{dia}^{-1}$ ) de <i>Mentha piperita</i> L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. ....	76
<b>Tabela 14.</b> Razão de área foliar ( $\text{dm}^2\text{g}^{-1}$ ) de <i>Mentha piperita</i> L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. ....	78
<b>Tabela 15.</b> Área foliar específica ( $\text{dm}^2\text{g}^{-1}$ ) de <i>Mentha piperita</i> L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. ....	80
<b>Tabela 16.</b> Análise de variância e comparação de médias da assimilação de $\text{CO}_2$ , avaliada entre 9:00 e 10:00 horas, em $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ , de <i>Mentha piperita</i> L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio e Mg nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. ....	84
<b>Tabela 17.</b> Análise de variância e comparação de médias da assimilação de $\text{CO}_2$ , avaliada entre 14:00 e 15:30 horas, em $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ , de <i>Mentha piperita</i> L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio e Mg nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. ....	85
<b>Tabela 18.</b> Análise de variância e comparação de médias de transpiração, avaliada entre 9:00 e 10:00 horas, em ( $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ), de <i>Mentha piperita</i> L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. ....	87
<b>Tabela 19.</b> Análise de variância e comparação de médias de transpiração avaliada entre 14:00 e 15:30 horas, em ( $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ), de <i>Mentha piperita</i> L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio e Mg nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. ....	88
<b>Tabela 20.</b> Análise de variância e comparação de médias da concentração intercelular de $\text{CO}_2$ , avaliada entre 9:00 e 10:00 horas, em ( $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ), de <i>Mentha piperita</i> L. cultivada em solução	

nutritiva com diferentes concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. ....	90
<b>Tabela 21.</b> Análise de variância e comparação de médias da concentração intercelular de CO <sub>2</sub> , avaliada entre 14:00 e 15:30 horas, em (mmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> ), de <i>Mentha piperita</i> L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. ....	91
<b>Tabela 22.</b> Análise de variância e comparação de médias da condutância estomática, avaliada entre 9:00 e 10:00 horas, em (mmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> ), de <i>Mentha piperita</i> L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. ....	94
<b>Tabela 23.</b> Análise de variância e comparação entre médias da condutância estomática avaliada entre 14:00 e 15:30 horas, em (mmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> ), de <i>Mentha piperita</i> L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. ....	95
<b>Tabela 24.</b> Análise de variância e comparação entre médias do ponto de compensação de CO <sub>2</sub> , em μmol mol <sup>-1</sup> de <i>Mentha piperita</i> L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio ns várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. ....	97
<b>Tabela 25.</b> Análise de variância e comparação entre médias da resistência estomática, de <i>Mentha piperita</i> L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. ....	99
<b>Tabela 26.</b> Análise de variância e comparação entre médias da eficiência de carboxilação da enzima Rubisco, de <i>Mentha piperita</i> L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. ....	101
<b>Tabela 27.</b> Análise de variância e comparação entre médias de rendimento de óleo essencial (mg (%) 30 g <sup>-1</sup> massa seca) de <i>Mentha piperita</i> L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. ....	104
<b>Tabela 28.</b> Composição do óleo essencial (%), de <i>Mentha piperita</i> L., cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio, nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. Valores médios das três colheitas. ....	107
<b>Tabela 29.</b> Análise de variância e comparação entre médias de mentol (%) no óleo essencial de <i>Mentha piperita</i> L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. ....	109
<b>Tabela 30.</b> Análise de variância e comparação entre médias de mentona (%) no óleo essencial de <i>Mentha piperita</i> L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. ....	111
<b>Tabela 31.</b> Análise de variância e comparação entre médias de mentofurano (%) no óleo essencial de <i>Mentha piperita</i> L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. ....	113
<b>Tabela 32.</b> Análise de variância e comparação entre médias de acetato de mentila (%) no óleo essencial de <i>Mentha piperita</i> L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações	

de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. ....	115
<b>Tabela 33.</b> Comparação de médias de teores médios de macro e micronutrientes determinados em lâminas foliares de <i>Mentha piperita</i> L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio, entre as várias colheitas, realizadas de abril a julho de 2005.....	117
<b>Tabela 34.</b> Comparação de médias de teores de macro e micro nutrientes determinados em caules e pecíolos de <i>Mentha piperita</i> L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio, entre as várias colheitas, realizadas de abril a julho de 2005. ....	117

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Esquema da distribuição dos vasos ao acaso nas três bancadas da casa de vegetação com plantas de *Mentha piperita* L., submetidas aos diferentes tratamentos com variação dos níveis de N, P, K e Mg (T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub> e T<sub>4</sub>) e avaliadas, em diferentes colheitas (1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup>, 3<sup>a</sup>, 4<sup>a</sup> e 5<sup>a</sup>) realizadas entre março e junho de 2005. A designação, C, OE ou FOTO indica a utilização do vaso para avaliação de crescimento, de óleo essencial ou de trocas gasosas. ....40
- Figura 2.** Etapas da condução do experimento com *Mentha piperita* L. Disposição das plantas de *Mentha piperita* L. Estacas em solução de KNO<sub>3</sub>, 600mg L<sup>-1</sup> (A e B), na casa de vegetação na data da instalação do experimento (C), Plantas aos 15 dias após transplante (D), DAT; aos 30 DAT (E); aos 90 DAT (E). ....41
- Figura 3.** Comprimento de parte aérea de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de N, P, K e Mg, em mg L<sup>-1</sup>, nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. Valores médios ajustados pela equação polinomial cúbica. Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de KNO<sub>3</sub>. ....53
- Figura 4.** Área foliar de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de N, P, K e Mg, em mg L<sup>-1</sup>, nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. Valores ajustados pela equação polinomial quadrática. Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de KNO<sub>3</sub>. ....55
- Figura 5.** Massa seca de raízes de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de N, P, K e Mg, em mg L<sup>-1</sup>, nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. Valores ajustados pela equação linear. Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de KNO<sub>3</sub>. ....58

- Figura 6.** Massa seca de caule mais pecíolos de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de N, P, K e Mg, em  $\text{mg L}^{-1}$ , nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. Valores médios ajustados pela equação polinomial quadrática. Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de  $\text{KNO}_3$ . .....60
- Figura 7.** Massa seca de lâminas foliares de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de N, P, K e Mg, em  $\text{mg L}^{-1}$ , nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. Valores médios ajustados pela equação polinomial quadrática. Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de  $\text{KNO}_3$ . .....62
- Figura 8.** Massa seca total de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de N, P, K e Mg, em  $\text{mg L}^{-1}$ , nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. Valores ajustados pela equação polinomial quadrática. Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de  $\text{KNO}_3$ . .....64
- Figura 9.** Razão de massa foliar de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de N, P, K e Mg em  $\text{mg L}^{-1}$ , nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. Valores ajustados pela equação linear (T1, T2 e T3) e polinomial quadrática (T4). Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de  $\text{KNO}_3$ . .....66
- Figura 10.** Distribuição de massa seca para raízes de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de N, P, K e Mg em  $\text{mg L}^{-1}$ , nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. Valores médios ajustados pela equação polinomial de quarto grau. Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de  $\text{KNO}_3$ . .....68
- Figura 11.** Distribuição de massa seca para caule e pecíolos de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de N, P, K e Mg em  $\text{mg L}^{-1}$ , nas várias colheitas realizadas entre abril e julho de 2005. Valores ajustados pela equação linear (T1, T3), polinomial quadrática (T2 e T4). Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de  $\text{KNO}_3$ . .....70
- Figura 12.** Distribuição de massa seca para lâminas foliares de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de N, P, K e Mg em  $\text{mg L}^{-1}$ , nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. Valores ajustados pela equação linear (T1, T2 e T3) e quadrática (T4). Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de  $\text{KNO}_3$ . .....72
- Figura 13.** Taxa assimilatória líquida de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de N, P, K e Mg em  $\text{mg L}^{-1}$ , nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. Valores ajustados pela equação exponencial quadrática. Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de  $\text{KNO}_3$ . .....74
- Figura 14.** Taxa de crescimento relativo de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de N, P, K e Mg em  $\text{mg L}^{-1}$ , nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. Valores ajustados pela equação exponencial quadrática. Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de  $\text{KNO}_3$ . .....76

- Figura 15.** Razão de área foliar de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de N, P, K e Mg em  $\text{mg L}^{-1}$ , nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. Valores ajustados pela equação exponencial quadrática. Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de  $\text{KNO}_3$ . .....78
- Figura 16.** Área foliar específica de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de N, P, K e Mg em  $\text{mg L}^{-1}$ , nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. Valores ajustados pela equação exponencial quadrática. Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de  $\text{KNO}_3$ . .....80
- Figura 17.** Assimilação de  $\text{CO}_2$ , avaliada entre 9:00 e 10:00 horas, de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de N, P, K e Mg em  $\text{mg L}^{-1}$ , nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. Valores médios ajustados pela equação polinomial de quarto grau. Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de  $\text{KNO}_3$ . .....84
- Figura 18.** Assimilação de  $\text{CO}_2$ , avaliada entre 14:00 e 15:30 horas, de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de N, P, K e Mg em  $\text{mg L}^{-1}$ , nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. Valores médios ajustados pela equação polinomial cúbica. Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de  $\text{KNO}_3$ . .....85
- Figura 19.** Transpiração, avaliada entre 9:00 e 10:00 horas, de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de N, P, K e Mg e em  $\text{mg L}^{-1}$ , nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. Valores médios ajustados pela equação polinomial quadrática. Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de  $\text{KNO}_3$ . .....87
- Figura 20.** Transpiração, avaliada entre 14:00 e 15:30 horas, de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio, em  $\text{mg L}^{-1}$ , nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. Valores médios ajustados polinomial cúbica. Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de  $\text{KNO}_3$ . .....88
- Figura 21.** Concentração intercelular de  $\text{CO}_2$ , avaliada entre 9:00 e 10:00 horas de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de N, P, K e Mg em  $\text{mg L}^{-1}$ , nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. Valores médios ajustados pela equação polinomial quadrática. Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de  $\text{KNO}_3$ . .....90
- Figura 22.** Concentração intercelular de  $\text{CO}_2$  ( $\text{mmol mol}^{-1}$ ), avaliada entre 14:00 e 15:30 horas, de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de N, P, K e Mg em  $\text{mg L}^{-1}$ , nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. Valores ajustados pela equação polinomial de quarto grau (T1, T2 e T3). Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de  $\text{KNO}_3$ . .....91
- Figura 23.** Condutância estomática, avaliada entre 9:00 e 10:00 horas, de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de N, P, K e Mg em  $\text{mg L}^{-1}$ , nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. Valores médios ajustados pela equação polinomial cúbica. Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de  $\text{KNO}_3$ . .....94



- Figura 24.** Condutância estomática avaliada entre 14:00 e 15:30 horas de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio e Mg em  $\text{mg L}^{-1}$ , nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. Valores ajustados pela equação linear (T3) e polinomial cúbica (T4). Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de  $\text{KNO}_3$ . ..... 95
- Figura 25.** Ponto de compensação de  $\text{CO}_2$  de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de N, P, K e Mg em  $\text{mg L}^{-1}$ , nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. Valores médios ajustados pela equação polinomial cúbica. Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de  $\text{KNO}_3$ . ..... 97
- Figura 26.** Resistência estomática de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de N, P, K e Mg em  $\text{mg L}^{-1}$ , nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. Valores médios ajustados pela equação polinomial de quarto grau. Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de  $\text{KNO}_3$ . ..... 99
- Figura 27.** Eficiência de carboxilação da enzima Rubisco de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de N, P, K e Mg em  $\text{mg L}^{-1}$ , nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de  $\text{KNO}_3$ . ..... 101
- Figura 28.** Rendimento de óleo essencial de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de N, P, K e Mg em  $\text{mg L}^{-1}$ , nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. Valores médios ajustados pela equação polinomial quadrática. Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de  $\text{KNO}_3$ . ..... 104
- Figura 29.** Teor de mentol de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de N, P, K e Mg em  $\text{mg L}^{-1}$ , nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. Valores médios ajustados pela equação polinomial cúbica. Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de  $\text{KNO}_3$ . ..... 109
- Figura 30.** Teor de mentona de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de N, P, K e Mg em  $\text{mg L}^{-1}$ , nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. Valores médios ajustados pela equação polinomial quadrática. Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de  $\text{KNO}_3$ . ..... 111
- Figura 31.** Teor de mentofurano de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de N, P, K e Mg em  $\text{mg L}^{-1}$ , nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. Valores médios ajustados pela equação polinomial cúbica. Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de  $\text{KNO}_3$ . ..... 113
- Figura 32.** Teor de acetato de mentila de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de N, P, K e Mg em  $\text{mg L}^{-1}$ , nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. Valores ajustados pela equação linear. Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de  $\text{KNO}_3$ . ..... 115

## Resumo

O objetivo do trabalho foi avaliar o desenvolvimento, as trocas gasosas, o rendimento e a composição do óleo essencial de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva nº2 Hoagland & Arnon (1950) com variação dos níveis de N, P, K e Mg. Assim, os tratamentos com 50% de N, P, K e 25% de Mg continha 94,0/15,5/107,5/12,15, com 50% de N, P, K e Mg continha 94,0/15,5/107,5/24,3, com 65% de N, 50% de P, 25% de K e 100% de Mg, continha 124,0/15,5/53,6/48,6 e com solução completa continha 189,0/31,0/214,5/48,6 mg L<sup>-1</sup> de N/P/K/Mg. As variáveis avaliadas foram comprimento de parte aérea, massas secas dos diferentes órgãos, área foliar, razão de área foliar (RAF), área foliar específica (AFE), taxa assimilatória líquida (TAL), taxa de crescimento relativo (TCR), razão de massa foliar (RMF), distribuição de massa seca para os diferentes órgãos, assimilação de CO<sub>2</sub> (A), transpiração (E), concentração intercelular de CO<sub>2</sub> (Ci), condutância estomática (gs), resistência estomática (S%), ponto de compensação (PtCe), eficiência de carboxilação da rubisco, rendimento e composição do óleo essencial e teores de macro e micronutrientes em lâminas foliares e caules e pecíolos. Os resultados obtidos foram avaliados estatisticamente por análise de variância do fatorial e análise de regressão polinomial, utilizando-se o programa computacional SAS, com o nível de 5% de significância. As variáveis, comprimento, área foliar, massa seca dos diversos órgãos e total apresentaram variância heterogênea entre tratamentos, o que levou a utilização de análise de regressão ponderada e transformação logarítmica dos resultados para a análise de variância. Os resultados dos

índices fisiológicos, foram estimados pelo programa ANACRES. As plantas cultivadas com a solução nutritiva completa apresentaram maior TAL até 35 dias após transplante (DAT) e menor AFE no início do ciclo. No entanto, o comportamento da TCR, de modo geral apresentou-se igual nas plantas cultivadas com os diferentes tratamentos. As plantas cultivadas com solução contendo 50% de N, P, K e Mg apresentaram maior RAF e menor TAL, o que resultou em TCR igual aos demais tratamentos. As plantas cultivadas com diminuição de magnésio em 50 e 75 % e avaliadas entre 9:00 e 10:00 horas, revelaram assimilação e concentração intercelular de CO<sub>2</sub> com tendência de ser maior ao longo do ciclo. Quando, no entanto, as medidas foram realizadas entre 14:00 e 15:30 horas, verificou-se que as plantas nutridas com decréscimo de 50% e 75% de Mg apresentaram maior assimilação em relação às nutridas com solução completa aos 35 DAT e maior concentração intercelular de CO<sub>2</sub> aos 50 e 83 DAT. As plantas cultivadas com 50% de N, P, K e 25% de Mg e 50% de N, P, K e Mg e avaliadas entre 9:00 e 10:00 horas apresentaram tendência de maior taxa de transpiração e condutância estomática ao longo do ciclo. Quando se analisa conjuntamente a transpiração e a condutância estomática verifica-se que as plantas nutridas com 50% de N, P, K e 25% de Mg e com 50% de N, P, K e Mg, apesar de apresentarem redução de 50% de K na solução revelaram maiores valores para essas variáveis, indicando que essas plantas mantiveram seus estômatos sempre abertos, não apresentando restrição à absorção de CO<sub>2</sub> e a perda de água. O ponto de compensação de CO<sub>2</sub> foi menor nas plantas nutridas com 65% de N, 50% de P, 25% de K e 100% de Mg. Aos 28 DAT as plantas cultivadas com 50% de N, P, K e Mg apresentaram aumento da resistência estomática (*S*%). As reduções de N, P, K e Mg na solução nutritiva não alteraram a eficiência de carboxilação da enzima Rubisco. As plantas submetidas aos 65% de N, 50% de P, 25% de K e 100% de Mg apresentaram maior rendimento de óleo essencial. Os componentes majoritários encontrados no óleo foram mentol, mentona, mentofurano, neomentol e acetato de mentila, que não apresentaram diferenças entre os tratamentos. Na primeira colheita, aos 69 DAT, as plantas apresentaram tendência de maiores teores dos componentes majoritários, sendo, portanto essa a melhor época para a extração de óleo essencial. Os resultados permitem concluir que as plantas cultivadas com 65% de N, 50% de P, 25% de K e 100% de Mg apresentaram tendência de maior produção de massa, rendimento de óleo essencial e teor de mentol. Recomenda-se, portanto, o cultivo da *Mentha piperita* L. com esses níveis de nutrientes.

## Summary

DEVELOPMENT, GAS EXCHANGE, YIELD AND ESSENTIAL OIL COMPOSITION OF *Mentha piperita* L. CULTIVATED IN NUTRIENT SOLUTION WITH VARIABLE N, P, K AND Mg LEVELS. Botucatu, 2006. 130p

Tese (Doutorado em Agronomia/Horticultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista

Author: Evelize de Fátima Saraiva David

Adviser: Carmen Silvia Fernandes Boaro

The aim of this study was to evaluate the development, gas exchange, yield and composition of essential oil of *Mentha piperita* L. cultivated in nº 2 Hoagland & Arnon nutritive solution with varying levels of nitrogen, phosphorus, potassium and magnesium. Treatment of 50% nitrogen, phosphorus, potassium and 25% of magnesium content 94,0/15,5/107,5/12,15, Treatment of 50% nitrogen, phosphorus, potassium and magnesium content 94,0/15,5/107,5/24,3, Treatment of 65% de nitrogen, 50% phosphorus, 25% potassium and 100% magnesium, content 124,0/15,5/53,6/48,6 and Treatment of 100% nitrogen, phosphorus, potassium and magnesium content 189,0/31,0/214,5/48,6 mg L<sup>-1</sup>. The parameters evaluate were Shoot length, leaf area, and dry matter of leaf blades, stems plus petioles, roots and total,

relative growth rate (RGR), net assimilation rate (NAR), leaf area ratio (LAR) and specific leaf area (SLA), leaf mass ratio (LMR), dry matter distribution in several organs (DMD), CO<sub>2</sub> assimilation (*A*), transpiration (*E*), Intracellular CO<sub>2</sub> concentration, stomatal conductance (*g<sub>s</sub>*), stomatal resistance (*S%*), CO<sub>2</sub> compensation point (*P<sub>i</sub>C<sub>e</sub>*), Rubisco carboxylation efficiency, yield and composition oil. The results were evaluated by factorial ANOVA and polynomial regression analysis, using SAS software with 5% significance. The parameters, Shoot length, leaf area, and dry matter of leaf blades, stems plus petioles, roots and total showed heteroscedasticity making necessary the use of ponderated regression analysis and logarithmic transformation. The physiological indexes were estimated using ANACRES software. Plants grown with complete nutritive solution presented higher TAL until 35 days after transplantation (DAT) and decreased AFE at the beginning of the cycle. TCR evolution was similar in different levels. Plants grown 50% N, P, K and Mg showed higher RAF and lower TAL, what resulted in TCR similar to other levels. Plants grown at 50% and 75% of Mg revealed CO<sub>2</sub> intercellular concentration with tendency to be higher during the cycle. Plants grown at 50% N, P and K and 25% Mg presented tendency of higher transpiration rate and stomatal conductance. CO<sub>2</sub> compensation point was lower in plants nurtured with 65% N, 50% P, 25% K and 100% Mg. N, P, K and Mg reductions did not alter the Rubisco carboxylation efficiency. Higher essential oil yield was found in the plants grown with 65% N, 50% P, 25% K and 100% Mg. Main oil components were menthol, mentone, mentofuran, neomentol and menthyl acetate, with no significant differences among experimental levels. At 69 DAT, plants showed tendency to produce higher levels of the main components. The results allow to conclude that *Menta piperita* can be cultivated in reduced nutrient concentrations, with 65% N, 50% P and 25% K of the original n° 2 Hoagland & Arnon nutritive solution.

## 1. Introdução

O uso de plantas medicinais na terapêutica humana é consagrado há milênios, segundo relatam diversos testemunhos históricos. Além disso, a necessidade de novos princípios ativos, aliada à ocorrência de efeitos colaterais em medicamentos quimiossintéticos, revigora uma prática consagrada em épocas diversas da história humana (STEFANINI, 1997).

Segundo a Organização Mundial de Saúde, cerca de 80% da população mundial recorre ao uso de plantas medicinais e/ou a seus subprodutos (STEENBOCK, 2000).

Entre 1963 e 1975 o Brasil foi responsável por 63,7 a 80% da produção mundial de óleo essencial de menta. No entanto, atualmente, 90% dos óleos essenciais, destinados ao mercado brasileiro, são importados. Um dos principais mercados para os produtores de plantas medicinais é a indústria de fitoterápicos, setor que tem crescido a passos largos no Brasil e no mundo. A Associação Brasileira da Indústria de Fitoterápicos (ABIFITO) estima que o setor movimentará R\$1 bilhão /ano no Brasil (RECH et al., 2000).

Apesar desta relevância na área agrônômica, as plantas medicinais ainda são pouco avaliadas em pesquisas científicas e várias espécies não têm recebido suficiente atenção sobre formas adequadas de propagação e tratamentos culturais com possibilidade de melhor rendimento de óleo. Menor número de estudos são verificados no tocante à

fisiologia da produção destas espécies. Desta forma, concordando com os registros de (FURLAN, 2000), o produtor acaba realizando empiricamente o manejo da cultura, o que pode resultar em produto de baixa qualidade.

O cultivo pode ser considerado como uma das etapas que mais interferem na produção e qualidade de um fitoterápico, tanto do ponto de vista qualitativo como quantitativo. Para as plantas medicinais a quantidade da biomassa vegetal não é o único objetivo, mas também devem ser considerados os teores dos princípios ativos (BOX, 1973).

O avanço tecnológico e crescente demanda do mercado consumidor por produtos de qualidade exigem do setor agrícola o entendimento dos aspectos agrônômicos e fisiológicos e a atualização das técnicas empregadas (HABERMANN, 1999).

Com base no acima exposto, o objetivo deste estudo foi avaliar o desenvolvimento, as trocas gasosas, o rendimento e a composição do óleo essencial de *Menta piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes níveis de N, P, K e Mg.

Para tanto, duas hipóteses devem ser consideradas:

1. Os elementos essenciais avaliados N, P, K, e Mg atuam em diferentes pontos chave do metabolismo primário e sua variação poderá alterar a produtividade vegetal.
2. O óleo essencial deverá ser influenciado por variações de N, P, K e Mg, devido às ações desses nutrientes também no metabolismo secundário.

## 2. Revisão de Literatura

*Mentha piperita* L., planta aromática pertencente à família Lamiaceae e conhecida também como hortelã pimenta, menta, e hortelã-apimentada é amplamente cultivada nos Estados Unidos, Itália, França e Hungria, entre outros países. Seu óleo essencial, considerado industrialmente importante (FAHN, 1979; LAWRENCE, 1985), é usado nas indústrias farmacêuticas, de bebidas alcoólicas, alimentícias e de cosméticos (GUPTA, 1991; MUNSI, 1992). A importação de matéria-prima nesta área chega a 90% (RECH et al., 2000), o que segundo Ming (1992), apresenta considerável evasão de divisas para o País. Segundo Loewenfeld & Back (1980), entre as mentas, a *Mentha piperita* L. apresenta maior conteúdo de mentol, constituinte importante de seu óleo essencial, produto do metabolismo secundário.

As plantas produzem grande diversidade de compostos orgânicos que parecem não ter função direta no crescimento e desenvolvimento conhecidos como metabólitos secundários (TAIZ, 2004; CROTEAU et al., 2000). Os metabólitos secundários podem ser divididos em terpenóides, alcalóides, fenilpropanóides e compostos fenólicos afins. Os óleos essenciais, também chamados óleos voláteis, óleos etéreos ou simplesmente essências, são substâncias (SIMÕES et al., 2000), formadas por terpenóides (mono e sesquiterpenos) e/ou lignóides (Alil-e propenilfenóis e cumarinas) (GOTTILEB, 1985).

Os terpenos são biossintetizados a partir de metabólitos primários do carbono, por duas rotas diferentes, a do ácido mevalônico e a do metileritritol fosfato (MEP).



Na rota do ácido mevalônico, três moléculas de acetil CoA são ligadas, a partir de uma série de etapas da rota, para formar o ácido mevalônico. Esse importante intermediário de seis carbonos é então bifosforilado, descarboxilado e desidratado para produzir isopentenil difosfato (IPP). O IPP, unidade ativa básica na formação dos terpenos, pode também ser formado a partir de intermediários da glicólise ou do ciclo de redução fotossintética do carbono, através do MEP, que ocorre nos cloroplastos ou outros plastídeos (TAIZ, 2004).

Segundo Svoboda e Svoboda (2000) e Croteau et al. (2000), a produção de grandes quantidades de terpenóides, assim como sua subsequente acumulação, emissão ou secreção está quase sempre associada à presença de estruturas anatômicas especializadas. Essa biossíntese ocorre nas glândulas epidérmicas de óleo, consumidoras de carbono e conseqüentemente dependentes de células fotossintetizantes adjacentes para um contínuo suplemento de precursores carbônicos (CROTEAU e JONSHON, 1984).

Segundo Araújo (1966) o óleo essencial da menta é extraído na razão média de 1% da massa do material a ser destilado. Embora de difícil estimativa, avalia-se que, para a obtenção de óleos de espécies da família Lamiaceae, sejam cultivados mais de 500 hectares (SIMÕES e SPITZER, 2000), destacando-se como espécies de maior utilização mundial a *Mentha arvensis* L. var. *piperascens* Holmes, a *Mentha piperita* L. e a *Mentha spicata* L.

Variações químicas e físicas dos componentes do óleo essencial de menta podem ocorrer por se tratar de uma mistura de compostos de diversas naturezas que a planta acumula a taxas específicas. Dessa forma, os teores das substâncias presentes no óleo, são muito dependentes de fatores ambientais e plantas desenvolvidas sob diferentes condições podem conter óleos com características diferentes (MAIA, 1998).

Charles et al. (1990) referem-se às porcentagens máxima e mínima dos principais componentes do óleo essencial de menta como sendo, mentol (57,8 – 46,1%), mentona (20,7 – 16,4%), limoneno (29,9 – 8,4%), 1,8-cineol (7,3 – 5,9%), mentofurano (4,8 – 1,3%), pulegona (4,8 – 1,3%), terpineol (2,4 – 1,5%), acetato de mentila (2,9 – 0,9%), beta-pineno (1,5 – 1,0%), alfa-pineno (0,5 – 0,2%), piperitona (0,2 – 0,1%) e eugenol (0,1 - 0,1%).

Os procedimentos que levam a incrementos no conteúdo de óleo essencial, muitas vezes não requerem custos adicionais à produção. A determinação do melhor momento para a colheita, em que as plantas apresentam maior conteúdo de óleo essencial e

maior teor dos seus constituintes mais importantes, tem sido o objetivo de muitos estudos (MARTINS, 1998). Assim, a composição qualitativa e quantitativa do óleo das plantas medicinais pode variar durante as fases de crescimento (CASTRO et al., 2001).

Rabak (1917), trabalhando com *Mentha piperita* L., nos EUA, obteve o maior rendimento de óleo quando as plantas atingiram o máximo florescimento. O autor descreve ainda que se as plantas forem secas antes da destilação, ocorre acentuada redução na qualidade do óleo, em função de mudanças favoráveis à formação de ésteres e a produção de ácidos livres. Conclui também, que o rendimento de óleo nas plantas decresce com a sua maturação, incrementando a porcentagem de ésteres e o teor de mentol, importante componente do óleo, tem relação inversa com o conteúdo de ésteres. Ellis (1944) relatou que a época de colheita pode ser determinada pela análise do teor de mentol livre no óleo de *Mentha piperita* L. Essa avaliação pode ser feita pelo método viscométrico. Elevados rendimentos são associados ao teor de mentol, em torno de 45%. Piccaglia et al. (1993) observaram na média de dois cortes/ano que o conteúdo de mentol passou de 46%, no 1º ano para 29% no 2º e os de mentona, pulegona e 1,8-cineol apresentaram diminuições mais discretas. Por outro lado, o mentofurano e o  $\beta$ -cariofileno aumentaram no 2º ano.

A avaliação da atuação dos adubos minerais na cultura de menta demonstra que o nitrogênio incrementa sua produção de massa, promovendo resistência ao frio e às moléstias. O potássio atua na formação dos ésteres, que conferem o aroma ao óleo. O fósforo e o cálcio não apresentam destacada importância, não sendo solicitados em doses maciças, mas apenas, como corretivos (INSTITUTO CAMPINEIRO, 1981).

Praszna & Bernáth (1993), verificaram que plantas de *Mentha piperita* L. submetidas a tratamento deficiente em fósforo diminuíram sua massa fresca em 74,8% e a massa foliar em 75,2%. Munsí (1992) demonstrou que a aplicação de nitrogênio e fósforo melhorou a produtividade quantitativa e qualitativa, aumentando a produção de massa fresca e seca e o rendimento de óleo essencial de menta japonesa.

Zheljazkov & Margina (1996) avaliaram a aplicação de quatro níveis crescentes de N, P e K no desenvolvimento de cinco cultivares de *Mentha arvensis* L. e verificaram que o comprimento da parte aérea, o rendimento de óleo essencial e a ramificação das plantas aumentaram com o aumento dos níveis de fertilização. O conteúdo de mentol aumentou na segunda colheita, com o aumento dos níveis de N, P e K. Jeliazkova et al. (1999)

verificaram que a altura de plantas de três cultivares de hortelã pimenta aumentou com o aumento dos níveis de N, P e K.

Plantas aromáticas desenvolvidas em hidroponia apresentaram maior produtividade em relação às aquelas cultivadas de modo tradicional, acumulando de 3 a 6 vezes mais óleo essencial por área (MAIRAPETYAN, 1999). Maia (1998) avaliando plantas de *Mentha arvensis* L., cultivadas em solução nutritiva, concluiu que as folhas representavam 22 a 40 % da massa seca total da planta e as raízes 11,28%. Ao avaliarem *Mentha arvensis* em solução nutritiva de Hoagland & Arnon modificada, Sinha e Singh (1982) verificaram que a deficiência de potássio reduziu o crescimento de folhas e aumentou a porcentagem do conteúdo de óleo essencial, diminuindo consideravelmente seu total por planta.

Mairapetyan et al. (1999) concluíram que a menta requer maior suprimento de fósforo para o máximo acúmulo de óleo essencial. David (2006) concluiu que o menor nível de P, igual a 15,5 mg L<sup>-1</sup>, não foi deficiente para plantas de *Mentha piperita* L., que apresentaram a maior produção de óleo essencial e o maior teor de mentol. As plantas cultivadas com o nível proposto para a solução nutritiva completa e igual a 31 mg L<sup>-1</sup>, apresentaram maior produção de massa seca e teores de mentona e mentofurano.

Leal (2001) concluiu que níveis de nitrogênio maiores que o recomendado na solução nº2 de Hoagland & Arnon interferiram no desenvolvimento da *Mentha piperita* L., diminuindo a produção e a qualidade do óleo essencial. As plantas submetidas à dose de nitrogênio recomendada por Hoagland & Arnon (1950) apresentaram maior volume de óleo essencial. Valmorbidia (2007) ao cultivar *Mentha piperita* L. em solução nutritiva concluiu que o maior nível de K utilizado, igual a 117 mg L<sup>-1</sup> até a 3ª colheita e 234 mg L<sup>-1</sup> a seguir, não resultou em maior produção de massa seca ou rendimento de óleo essencial. A autora concluiu ainda que para a produção de massa seca, rendimento e qualidade de óleo essencial, a *Mentha piperita* L. pode ser cultivada com redução de 50 a 75% da quantidade de potássio proposta para a solução completa de Hoagland & Arnon (1950).

Ruiz (1993) relatou que a solução nutritiva nº2 de Hoagland & Arnon (1950) super estima todos nutrientes utilizados em sua composição. Segundo Zeiger (2004a), as concentrações desses elementos foram estabelecidas no maior nível possível, sem produzir sintomas de toxicidade ou estresse salino e assim, podem ser várias vezes maiores do que as encontradas no

solo ao redor das raízes. Leal (2001) esperava obter aumento no desempenho da *Mentha piperita* L submetida a níveis de N maiores que ao da solução nutritiva completa de Hoagland & Arnon. No entanto, verificou diminuição do comprimento de parte aérea, do número de folhas, da área foliar, da massa seca total, tendo tal aumento de N interferido na produção e composição do óleo essencial, diminuindo sua qualidade. Este comportamento talvez possa ser explicado já pelos níveis superestimados dos macronutrientes proporcionados pela solução nutritiva completa.

A produtividade das plantas é determinada por vários fatores, inclusive a quantidade de folhas, a capacidade fotossintética de cada folha, e a disponibilidade de nutrientes, sendo esses, fatores chaves que determinam o ganho de biomassa. Milthorpe e Moorby (1974) referiram que a ausência, ou mesmo a insuficiência, de um nutriente interfere na produção final, embora não se conheça qual das variáveis fisiológicas intermediárias fica comprometida, interferindo na produtividade.

O suprimento adequado de nutrientes minerais para as culturas é um dos fatores mais importantes para aumento de sua produtividade (FAGERIA, et al, 1997). A nutrição mineral influencia direta e indiretamente o metabolismo do carbono devido a sua influencia no crescimento e na morfogênese. Os efeitos bioquímicos sobre a fotossíntese acontecem porque os elementos minerais são componentes integrantes de enzimas e pigmentos ou, ainda, ativadores diretos do processo fotossintético (LARCHER, 2006).

O requerimento por nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio na fotossíntese está bem documentado por MALAVOLTA (1989), MARSCHNER (1995) e ZEIGER (2004a). O nitrogênio, componente essencial das proteínas e clorofilas, é necessário para a formação dos tilacóides e enzimas. Há uma estreita correlação entre o conteúdo de nitrogênio na folha, a quantidade de clorofila e da Ribulose 1,5 bifosfato carboxilase (RuBP carboxilase) (LARCHER, 2006).

Zeiger (2004a) referiu que o estado nutricional da planta altera a capacidade fotossintética da folha, destacando o nitrogênio, que pode alterar a eficiência de carboxilação da enzima Rubisco. Farquhar & Sharkey (1982) registraram que a estimativa da eficiência de carboxilação pode correlacionar-se com a capacidade produtiva da planta.

A enzima Ribulose 1,5 bifosfato carboxilase/oxigenase (Rubisco) é a proteína mais abundante nas folhas de plantas superiores, compreendendo 50% das proteínas solúveis das folhas (SALISBURY ROSS, 1991; LAWLOR, 1993). É formada por 8 grandes e

8 pequenas subunidades. A grande subunidade apresenta um domínio terminal  $\text{NH}_2^-$ , chamado de N (de resíduos de aminoácidos), uma região conectora, um domínio principal chamado de barril e um domínio terminal C (LAWLOR, 1993; LEHNINGER, 2002). Logo, como todas as proteínas, a Rubisco apresenta enorme quantidade de N, sendo considerada a maior forma de armazenamento de N orgânico nas plantas superiores (LAWLOR, 1993).

O nitrogênio, portanto, encontra-se intimamente ligado ao metabolismo bioquímico fotossintético e seu equilíbrio é essencial para o funcionamento de todas as reações referentes ao ciclo de Calvin-Benson (SALISBURY ROSS, 1991; LAWLOR, 1993).

Durante o processo de assimilação do nitrato, a enzima nitrato redutase requer NADH (nicotinamida adenina dinucleotídeo) como doador de elétrons, reduzindo o nitrato em nitrito no citoplasma. O nitrito por sua vez, é um íon altamente reativo e potencialmente tóxico, sendo transportado rapidamente para o interior do cloroplasto, onde é reduzido a amônio pela enzima nitrito redutase. Para que ocorra esta reação é necessária presença da ferredoxina reduzida, que é uma aceptora adicional de elétrons do fotossistema I do transporte de elétrons da fotossíntese (ZEIGER, 2004b). Esse processo de redução do nitrato a amônio compete com o  $\text{CO}_2$  por ferredoxina reduzida (redutase nitrito no cloroplasto) e NADH no citosol (redutase nitrato), o que pode resultar em queda na eficiência do transporte eletrônico que por sua vez acarretaria diminuição na produção de ATP e NADPH (nicotinamida adenina dinucleotídeo fosfato), necessários para a fixação de  $\text{CO}_2$  no ciclo de Calvin-Benson e regeneração da RubP (Ribulose 1,5 bifosfato), diminuindo assim a velocidade de formação de hexoses (ZEIGER, 2004c).

A nutrição mineral influencia as trocas gasosas, afetando a morfogênese e o tempo de duração da folha. Sob deficiência de nitrogênio desenvolvem-se pequenas folhas com movimento estomático prejudicado. Por outro lado, oferta excessiva de nitrogênio causa aumento na respiração e, portanto, menor rendimento fotossintético (LARCHER, 2006).

Correlação positiva tem sido observada entre luz saturante, a taxa de fotossíntese de uma folha e o seu conteúdo de nitrogênio (FIELD e MOONEY, 1986; EVANS, 1989; REICH et al., 1994, 1995 a, b). Geralmente elevados conteúdos de nitrogênio são associados a elevadas taxas de fotossíntese, devido a grande quantidade de nitrogênio orgânico nas folhas, com até 75% do N foliar, presentes nos cloroplastos e a maior parte no aparato fotossintético (EVANS e SEEMANN, 1989). Contudo, a relação entre a taxa de fotossíntese, quantidade de N orgânico na

folha e eficiência fotossintética do uso desse nutriente, não é constante, devido a competição do N com o CO<sub>2</sub> nos seus processos de redução.

Portanto, a dose de nitrogênio fornecida a cultura deve ser equilibrada em relação à quantidade dos outros nutrientes, principalmente fósforo e potássio (MALAVOLTA, 1979).

O fósforo também se encontra super estimado na solução nutritiva de Hoagland e Arnon (1950). Enquanto está presente na solução do solo em concentrações normalmente menores do que 0,06 mg L<sup>-1</sup>, na solução nutritiva encontra-se em concentração igual a 62 mg L<sup>-1</sup>. Esses elevados níveis permitem às plantas crescerem no meio por períodos prolongados sem reposição dos nutrientes (ZEIGER, 2004 a).

David (2007) ao cultivar *Mentha piperita* L. em solução nutritiva com 50% a mais de P (46,5 mg L<sup>-1</sup> de P) não verificou sinais de toxicidade e apesar das plantas apresentarem maior massa seca, não tiveram maior produção e rendimento de óleo essencial. Rodrigues et al. (2004) verificaram que as maiores concentrações de P avaliadas, iguais a 24 e 30 mg L<sup>-1</sup> de P aumentaram a produção de massa fresca e seca da parte aérea da *Mentha piperita* L., mas, reduziram os teores de óleo essencial, devido ao efeito de diluição, não significando, portanto, ganho de produção de óleo essencial por planta. Por outro lado, Bueno (2004) verificou maiores massas frescas e secas de parte aérea e rendimento de óleo essencial quando plantas de tomilho (*Tymus vulgares*) foram nutridas com 46,5 mg L<sup>-1</sup> de P.

O fosfato é incorporado em uma variedade de compostos orgânicos, incluindo açúcares-fosfatos, fosfolipídeos e nucleotídeos (ZEIGER (2004a), MALAVOLTA (1989) e MARSCHNER (1995)). O principal ponto de entrada do fosfato na via de assimilação ocorre durante a formação do ATP. Na mitocôndria a energia para a síntese do ATP é proveniente da oxidação do NADH pela fosforilação oxidativa. O ATP pode também ser sintetizado segundo fosforilação dependente da luz no cloroplasto (ZEIGER, 2004d).

A oferta de fósforo inorgânico também regula o ciclo de Calvin e o transporte de metabólitos e de compostos assimilados (LARCHER, 2006).

A deficiência de nutrientes como N, P ou S leva a aumento do conteúdo de amido nas folhas, aumentando a razão raiz/brotação (THOMPSON et al., 1992; ERICSSON et al., 1996). As concentrações relativas de ortofosfato e triose fosfato controlam a compartimentalização do fixado como amido no cloroplasto ou como sacarose no citossol. Os

dois compartimentos comunicam-se por meio de transportador fosfato/triose fosfato. Esse transportador catalisa o movimento de ortofosfato e de triose fosfato em direções opostas entre o cloroplasto e o citosol. Baixa concentração de ortofosfato no citosol limita a exportação de triose fosfato do cloroplasto por intermédio de transportador, promovendo, assim, a síntese de amido. Por outro lado, abundância de ortofosfato no citosol inibe a síntese de amido dentro do cloroplasto e estimula a exportação de triose fosfato para o citosol, onde ela é convertida em sacarose (ZEIGER, 2004c).

Singh & Singh (1968) demonstraram que a deficiência do fósforo, além de diminuir o tamanho e número de folhas causou acúmulo dos açúcares redutores em todos os órgãos, principalmente nas hastas, de *Mentha arvensis* L. Foram baixos os níveis de proteínas nitrogenadas, sugerindo interferência com a síntese protéica.

Segundo Carmelo (1989) a eficiência das plantas em obter quantidades suficientes de um nutriente para o seu pleno desenvolvimento não depende apenas de sua concentração em forma disponível no meio nutritivo, mas também de fatores ambientais e fisiológicos da planta, que afetam a sua absorção. Dentre os fatores ambientais, destaca-se o tipo de elemento, sua concentração em relação aos demais, além da presença de outros elementos.

A interação do potássio com a maioria dos macro e micronutrientes é bastante conhecida. Essas interações podem restringir ou aumentar a absorção, transporte e utilização dos nutrientes.

A adição de  $K^+$  geralmente, mas nem sempre, implica diminuição dos teores de  $Ca^{2+}$  e  $Mg^+$  na planta. Muitos desses efeitos podem ser explicados simplesmente considerando o efeito de diluição, uma vez que a planta bem nutrida em  $K^+$  cresce mais. Na maioria das vezes, mesmo havendo redução dos teores de  $Ca^{2+}$  e  $Mg^+$  nos tecidos foliares das plantas, esses teores ainda podem ser classificados na faixa de suficiência, não causando, portanto, danos ao crescimento ou à produção (ROSOLEM, 2005).

De acordo com Malavolta (1976) o antagonismo entre o  $K^+$  e o  $Ca^{2+}$  é resultado de uma competição iônica na solução do solo. No entanto, o  $Ca^{2+}$ , em baixa concentração, pode provocar um efeito estimulante na absorção de  $K^+$ . Porém, ao aumentar a concentração de  $Ca^{2+}$ , o estímulo diminui, até ocorrer inibição competitiva entre esses cátions,

causando redução na absorção de  $K^+$  pelas plantas (Soares et al., 1983). Da mesma forma, elevadas concentrações de K reduzem a absorção de  $Ca^{2+}$  (VENTURA 1987, KURIHARA, 1991).

A resposta de uma cultura ao  $K^+$  depende, em grande parte, do nível em que se encontra a nutrição nitrogenada. Geralmente, quanto maior o suprimento de N, maior o aumento de produtividade devido ao  $K^+$ , de modo que a possibilidade de interação de N e  $K^+$  é reconhecida há muito tempo (HEATHCOTE, 1972; MURPHY, 1980; DIBB e THOMPSON JUNIOR, 1985). Embora alguns autores admitam que possa ocorrer competição de  $NH_4^+$  com  $K^+$  (CLAASSEN e WILCOX, 1974), atualmente é geralmente aceito que este não é o aspecto mais importante desta interação. Trabalhos conduzidos por Ajay et al (1970) e Dibb e Welch, (1976) apontam conclusivamente para o fato de que a maior absorção de  $K^+$  permite rápida assimilação do  $NH_4^+$  absorvido, mantendo seu teor baixo na planta, evitando a toxidez. Em plantas deficientes em  $K^+$ , haveria acúmulo de  $NH_4^+$ , com aparecimento de lesões correspondentes à toxidez por este íon.

Muitos são os estudos caracterizando a importância do equilíbrio entre os nutrientes no meio para a nutrição das plantas, constatando muitas vezes efeito antagônico entre os mesmos. Assim, desequilíbrios entre suas concentrações provocam influências recíprocas na disponibilidade, absorção e translocação na planta.

O potássio, além de ativar muitas enzimas envolvidas na respiração e na fotossíntese, desempenha importante papel na regulação osmótica das células vegetais, principalmente na célula-guarda, orientando os movimentos estomáticos, que controlam a perda de água e assimilação de  $CO_2$  (MARSCHNER, 1995; ZEIGER, 2002a), durante a abertura e fechamento dos estômatos. A concentração de potássio nas células-guarda aumenta várias vezes e essas grandes alterações de concentração são equilibradas eletricamente pelos ânions  $Cl^-$  e malato<sup>2-</sup>. O íon  $Cl^-$  é trazido para dentro das células-guarda durante a abertura dos estômatos e expelido no fechamento. O malato, por outro lado, é sintetizado no citosol da célula-guarda, em uma rota metabólica que utiliza esqueletos de carbono gerados pela hidrólise do amido (ZEIGER, 2004e).

Após a síntese de ácido málico há dissociação de  $H^+$  e malato, ocorrendo entrada de  $K^+$  na célula-guarda e saída de  $H^+$ . O malato e  $K^+$  são transportados para dentro do vacúolo, promovendo um abaixamento do potencial osmótico e hídrico. Ocorre a entrada de água aumentando o potencial pressão e a abertura do poro. No processo de



fechamento, ocorre aumento na concentração de  $\text{CO}_2$ , ocorrendo formação de ácido málico, o malato sai do vacúolo para o citosol e o  $\text{K}^+$ , para fora da célula. Aumenta o potencial osmótico e hídrico no vacúolo, o estômato fecha (ZEIGER, 2004e).

A necessidade de  $\text{K}^+$  para otimizar o crescimento das plantas é de 2 a 5% da massa seca da parte vegetativa. Quando o  $\text{K}^+$  está deficiente, o crescimento é desacelerado, ocorrendo, maior redistribuição de  $\text{K}^+$  a partir das folhas e hastes mais velhas e, sob deficiência severa, estes órgãos tornam-se cloróticos e necróticos (MARSCHNER, 1995).

Wilkinson (1994) relatou que o  $\text{K}^+$  atua na síntese da Rubisco, enzima que afeta a taxa de assimilação do  $\text{CO}_2$ . É essencial na ativação da ATPase, necessária para a troca de nutrientes e metabólitos entre o apoplasto e o simplasto. O autor também destaca que em cloroplastos de folhas deficientes em potássio há reduzida atividade nas enzimas do ciclo de Calvin, mais precisamente da Rubisco, pois o  $\text{K}^+$  está envolvido em vários passos do processo de transdução, incluindo a ligação do tRNA com o ribossomo durante a síntese de proteína. Assim, a síntese desta enzima é particularmente diminuída em plantas deficientes em  $\text{K}^+$  e aumenta rapidamente com o suplemento deste nutriente (MARSCHNER, 1995).

Em plantas deficientes em potássio, ocorrem ainda mudanças químicas que incluem a acumulação de carboidratos solúveis, a diminuição do conteúdo de amido e a acumulação de compostos solúveis nitrogenados. Tais alterações ocorrem devido ao elevado requerimento de  $\text{K}^+$  para certas enzimas reguladoras, particularmente piruvato quinase e fosfofrutoquinase. A atividade da enzima amido sintetase, também é dependente dos cátions monovalentes e o  $\text{K}^+$  é o mais ativo deles (MARSCHNER, 1995).

Em casos de severa deficiência de potássio ocorre acumulação de grupos aminas tais como a putrescina (WILKINSON, 1994). Este é um efeito indireto do  $\text{K}^+$ , pois as enzimas que catalisam a síntese de putrescina a partir da arginina via agmatine são inibidas em elevada concentração de  $\text{K}^+$  e estimuladas em baixo pH citoplasmático (MARSCHNER, 1995).

Sinha & Singh (1984) referem que a omissão de potássio no cultivo de *M. arvensis* em solução nutritiva influenciou o metabolismo do nitrogênio, a taxa de respiração e o teor de óleo essencial. Nessas condições, as plantas apresentaram redução da área foliar, acúmulo de nitrogênio amoniacal e redução da produção do óleo essencial por

planta e por área cultivada, a partir de 60 dias após o plantio. O aumento do teor de N deveu-se ao aumento de substâncias amoniacais nas folhas deficientes em K.

Maia (1998) cultivando *M. arvensis*, observou que a omissão de potássio na solução nutritiva resultou em plantas com menor desenvolvimento, com hastes menores, poucas brotações laterais e menor número de folhas. No início do desenvolvimento, as folhas apresentaram-se arredondadas, com pouca pilosidade e mais brilhantes, ocorrendo manchas necróticas, com cerca de 1 mm de diâmetro, por todo o limbo. Quarenta dias após o plantio, as manchas das folhas mais velhas aumentaram de tamanho, evoluindo para necrose.

Praszna & Bernath (1993) cultivaram *Mentha piperita* L. em solução nutritiva e observaram que as plantas dos tratamentos com deficiência total de potássio, tiveram uma diminuição de 6,7% da massa seca das folhas, quando comparadas ao tratamento completo.

Valmorbida (2007) verificou que a diminuição do nível de potássio em 50 e 75 % na solução nº2 de Hoagland & Arnon, além de não mostrar sinais de deficiência na *Mentha piperita* L., também não apresentou diminuição de rendimento de massa seca ou óleo essencial. Assim, o nível intermediário de potássio na solução, igual a 58,50/117,00 mg L<sup>-1</sup>, mostrou ser adequado para as variáveis, comprimento de parte aérea, área foliar, produção de massa seca das lâminas foliares, das raízes, do caule mais pecíolo e da massa seca total.

Goldberg (1966) e Tempest et al. (1967) demonstraram a importância do magnésio (Mg<sup>2+</sup>) na manutenção da integridade do ribossoma, necessária para a síntese protéica. Por outro lado, esse elemento exerce importantes funções bioquímicas, bem documentadas (WALKER e WEINSTEIN, 1991 e MARSCHENER, 1995).

O magnésio apresenta papel específico na ativação de enzimas envolvidas na respiração, síntese de DNA e RNA e na fotossíntese, fazendo parte da estrutura em anel da molécula de clorofila (HINKLE e EISENNENGER, 1950 e ZEIGER, 2004a). Essa estrutura em anel contém alguns elétrons frouxamente ligados, além de ser parte envolvida na transição de elétrons. Quando os pigmentos do complexo antena recebem luz, transferem essa energia para o centro de reação, concentrando-a em quantidade suficiente para retirar os elétron frouxamente ligados para serem transferidos para o fotossistema II. Tais elétrons passam então, por uma série de carreadores e os provenientes do fotossistema II reduzem o fotossistema I, enquanto os provenientes do fotossistema I reduzem NADP<sup>+</sup> (ZEIGER, 2004b).

Vários aspectos do metabolismo do magnésio foram abordados no estudo de Boaro (2001), que registrou que a proporção do  $Mg^{2+}$  total ligado à clorofila depende muito do suprimento deste elemento às plantas (MICHAEL, 1941), 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 fosfatos e, 60 a 90% são extraídos com água (MARSCHNER, 1995). Nesses órgãos, a concentração de  $Mg^{2+}$  não ligada em estruturas orgânicas, mas localizadas em “pool metabólico”, no citoplasma e cloroplasto, é regulada e encontra-se na faixa de 2 a 10 mM (LEIGH e WYN JONES, 1986). O vacúolo é o principal “pool de armazenamento” de  $Mg^{2+}$  para a manutenção de sua homeostase, não tão bem conhecida como a do cálcio.

Boaro (2001) também referiu que, nas células foliares, no mínimo 25% da proteína total está localizada nos cloroplastos. Isto explica porque a deficiência de  $Mg^{2+}$  afeta o tamanho, a estrutura e a função dos cloroplastos, incluindo a transferência de elétrons no fotossistema II (MCSWAIN et al., 1976 e ZEIGER, 2004b). Além disso, a Rubisco é ativada pela luz, de forma dependente de  $Mg^{2+}$ .

Boaro (2001) ainda destacou que a redistribuição do  $Mg^{2+}$  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. Isto indica maiores taxas de degradação protéica, incluindo as proteínas estruturais dos tilacóides e explica porque nas plantas deficientes em  $Mg^{2+}$  os outros pigmentos fotossintéticos são de modo frequente afetados tal como a clorofila (SCOTT & ROBSON, 1990). Hinkle & Eisenmenger (1950) demonstraram que a carência de  $Mg^{2+}$  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, os quais 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.

Além da importância do  $Mg^{2+}$  na molécula de clorofila, o elemento é também requerido para o empilhamento dos tilacóides, para ação de enzimas envolvidas na assimilação de  $CO_2$  e na partição dos fotoassimilados entre amido e sacarose (JAKOBS, 1996).

Benner et al. (1988) e Schulze et al. (1989) verificaram em seus estudos que a deficiência de  $Mg^{2+}$  reduziu as taxas de assimilação  $CO_2$  das plantas. O enverdecimento das

árvores após fertilização com  $Mg^{2+}$  levou a aumento na taxa de assimilação de  $CO_2$  (JAKOBS, 1996).

Godde e Dannehl (1994) avaliando espinafre demonstraram que a degradação do aparato fotossintético induzida pela combinação de tratamentos deficientes em magnésio e enxofre precedeu perda permanente da atividade fotossintética.

Jakobs (1996) observou redução de 50% da taxa de assimilação de  $CO_2$  em plantas muito deficientes em  $Mg^{2+}$ , enquanto a deficiência moderada causou apenas desprezível redução desta variável. Os decréscimos na taxa de assimilação foram acompanhados de redução da condutância estomática, o que manteve praticamente inalterada a eficiência do uso de água.

Além da disponibilidade de nutrientes, também deve ser considerada a razão elementar adequada entre os nutrientes para a obtenção de crescimento ótimo das plantas (Marenco et al., 2001). Gama (1977) citado por Boaro (2001) afirmou que a absorção de nutrientes pela planta, depende de diversos fatores, entre os quais, da interação entre eles, que determina ações antagônicas ou sinérgicas, que variam em função das proporções dos elementos, das espécies, dos cultivares e do estágio de desenvolvimento do vegetal.

Independente das dificuldades inerentes ao conhecimento sobre a complexidade que envolve o crescimento das plantas, a análise de crescimento ainda é o meio mais acessível e bastante preciso para avaliar o crescimento e inferir a contribuição de diferentes processos fisiológicos sobre o comportamento vegetal (CAUSTON e VENUS, 1981).

A análise de crescimento descreve as condições morfo-fisiológicas da planta, em diferentes intervalos de tempo, permitindo acompanhar a dinâmica da produtividade, avaliada por variáveis fisiológicas e bioquímicas. É um método que pode ser utilizado para investigação do efeito dos fenômenos ecológicos sobre o crescimento, como adaptabilidade das espécies a ecossistemas diversos, efeitos de competição, diferenças genotípicas da capacidade produtiva e influência de práticas agrônômicas sobre o crescimento (MAGALHÃES, 1986).

## **5. Material e Métodos**

### **5.1. Local e Clima**

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do tipo “Paddy-Fan” do Departamento de Botânica do Instituto de Biociências da Universidade Estadual Paulista, Campus Botucatu – SP. A temperatura e a umidade relativa na casa de vegetação foram mantidas respectivamente em torno de 27°C e 70%, entre o início de março a final de junho de 2005.

As coordenadas geográficas desta localidade são 48° 24' 35" de longitude oeste e 22° 49'10" de latitude sul. A altitude média é de 800 m, referente ao nível do mar.

### **5.2. Material vegetal**

As mudas de *Mentha piperita* L. foram obtidas a partir de plantas matrizes provenientes da Escola Superior de Agricultura Luís de Queiroz, ESALQ-USP, localizada em Piracicaba-SP, que foram, em Botucatu, propagadas em vasos e posteriormente em canteiros, para a obtenção da quantidade de material suficiente para a execução do experimento.

A seguir, ramos aéreos dessas plantas foram selecionados e a partir deles, estacas com 10 cm de comprimento e com os quatros primeiros pares de folhas mantidos foram confeccionadas, desinfectadas posteriormente por imersão rápida em solução de hipoclorito a 2% e em seguida lavadas em água corrente e acondicionadas em solução contendo nitrato de potássio em concentração de  $600\text{mg L}^{-1}$  durante 10 dias para o enraizamento, segundo as especificações de Soares & Sacramento (2001) (Figura 2A e 2B). Após os 10 dias, as estacas enraizadas (Figura 2C) foram transferidas para vasos com solução nutritiva nº2 de Hoagland & Arnon (1950), modificada pela variação da concentração de N, P, K e Mg, que constituiu os diferentes tratamentos aos quais as plantas foram submetidas, que podem ser observados na Tabela 1. Esses tratamentos, abaixo registrados, continham diferentes porcentagens dos nutrientes definidos em relação à solução completa (Figura 2D).

Tratamento 1, contendo solução nutritiva com 50% de N, P e K e 25% de Mg.

Tratamento 2, contendo solução nutritiva com 50% de N, P, K e Mg.

Tratamento 3, contendo solução nutritiva com 65% de N, 50% de P, 25% de K e 100% de Mg.

Tratamento 4, contendo solução nutritiva completa.

O pH e a condutividade elétrica da solução nutritiva foram avaliados durante todo o experimento. O pH foi mantido entre 5,5 e 6,0 e a condutividade elétrica da solução, conforme as recomendações de Carmello (1992) foi mantida entre  $1,5$  e  $2,5\text{ mS cm}^{-1}$ .

A solução nutritiva, continuamente arejada, com soprador rotativo, foi renovada a cada duas semanas. Sempre que necessário, o volume de solução dos vasos foi completado com água de torneira.

**Tabela 1.** Tratamentos a que foram submetidas plantas de *Mentha piperita* L., durante seu desenvolvimento. Compostos utilizados, soluções estoques ( $\text{g L}^{-1}$ ), composição das soluções nutritivas ( $\text{mL L}^{-1}$ ) e quantidades de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio fornecidas às plantas ( $\text{mg L}^{-1}$ ).

<b>Tratamento</b> <b>Porcentagens N, P, K e Mg</b> <b>em relação à solução</b> <b>nutritiva</b>	<b>Composto</b>	<b>Solução</b> <b>Estoque</b> <b><math>\text{g L}^{-1}</math></b>	<b>Solução</b> <b>nutritiva</b> <b><math>\text{mL L}^{-1}</math></b>	<b>N/P/K/Mg</b> <b><math>\text{mg L}^{-1}</math></b>
<b>T1 (50% N, P, K e 75% Mg)</b>	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	115,0	0,5	<b>94,0/15,5/107,5/12,15</b>
	$\text{KNO}_3$	101,1	3	
	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	246,5	0,5	
<b>T2 (50% N, P, K e Mg)</b>	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	115,5	0,5	<b>94,0/15,5/107,5/24,3</b>
	$\text{KNO}_3$	101,1	3	
	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	246,5	1	
	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$			
<b>T3 (65% N, 50% P, 25% K e 100% Mg)</b>	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	115,5	0,5	<b>124,0/15,5/53,6/48,6</b>
	$\text{KNO}_3$	101,1	1,5	
	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	246,5	2	
<b>T4 (100% N, P K e Mg)</b> <b>(solução completa)</b>	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	115,00	1	<b>189,0/31,0/214,5/48,6</b>
	$\text{KNO}_3$	101,10	6	
	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	236,16	4	
	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	246,50	2	
<b>Micronutrientes</b>	$\text{H}_3\text{BO}_3$	2,86	1	
	$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	1,81	1	
	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0,22	1	
	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0,08	1	
	$\text{H}_2\text{MoO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	0,02	1	

### 5.3. Tratos fitossanitários

O ataque de pulgões a partir dos 13 dias após transplante das mudas para os tratamentos definitivos foi controlado com aplicações de água de fumo nas plantas, sempre que necessário, seguindo as prescrições de ABREU JÚNIOR (1998).

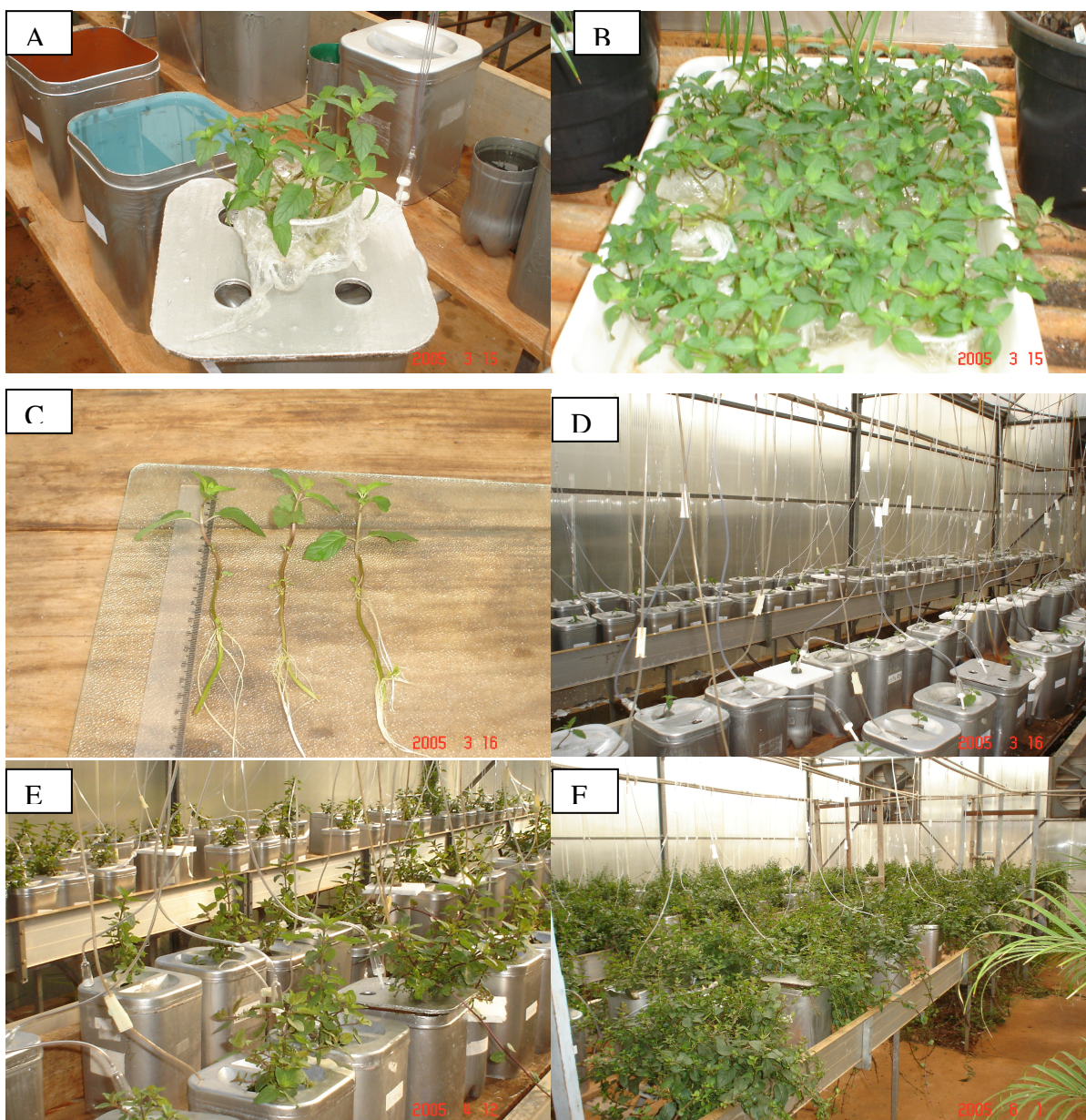
Controlou-se a presença de ácaros branco e vermelho com aplicações de 5-O-dimetilavermectin A1a (5-O-dimetil)-25-(1-metiletil) avermectin A1a (Vertimec) na concentração de 0,5 mL L<sup>-1</sup>. Utilizou-se espalhante alquil-fenol-poliglicoleter (Extravon) na concentração de 0,2 mL L<sup>-1</sup>, para possibilitar melhor aderência do produto às folhas. Foram realizadas duas aplicações em toda a área, aos 16 e 21 dias após o transplante.

Aos 30 e 45 dias após o transplante efetuou-se pulverização na área total com Benlate na concentração de 0,33g L<sup>-1</sup> para controle de oídio.



1ª bancada		2ª bancada		3ª bancada	
T1 C 1ª	T2 OE 5ª	T4 C 1ª	T1 OE 1ª	T4 OE 4ª	T3 C 3ª
T4 OE 4ª	T3 C 2ª	T1 OE 4ª	T1 FOTO	T2 C 2ª	T1 C 3ª
T4 OE 2ª	T3 C 5ª	T4 C 4ª	T3 OE 4ª	T3 C 4ª	T4 OE 3ª
T1 OE 3ª	T1 OE 5ª	T2 C 1ª	T1 C 1ª	T2 OE 3ª	T3 FOTO
T1 C 2ª	T2 C 2ª	T1 FOTO	T4 FOTO	T3 C 4ª	T1 C 4ª
T3 C 3ª	T4 OE 5ª	T4 FOTO	T4 OE 4ª	T3 FOTO	T1 C 3ª
T1 C 5ª	T1 OE 2ª	T3 C 2ª	T2 C 3ª	T4 OE 4ª	T3 C 1ª
T4 C 5ª	T1 OE 1ª	T4 OE 1ª	T2 OE 1ª	T1 C 5ª	T3 C 3ª
T2 OE 4ª	T3 OE 1ª	T1 OE 1ª	T3 C 2ª	T1 FOTO	T1 C 2ª
T4 C 5ª	T3 OE 4ª	C T2 C 5ª	T1 C 2ª	C T1 C 3ª	T3 C 3ª
T4 C 3ª	T3 OE 3ª	O T4 C 2ª	T1 C 3ª	O T1 OE 4ª	T2 C 3ª
T4 FOTO	T3 OE 3ª	R T4 C 4ª	T3 OE 1ª	R T4 OE 1ª	T4 C 3ª
T4 OE 1ª	T2 C 5ª	R T2 FOTO	T3 C 1ª	R T2 C 1ª	T4 OE 3ª
T1 OE 2ª	T4 OE 1ª	E T3 FOTO	T1 C 4ª	E T4 FOTO	T3 OE 2ª
T1 C 1ª	T1 C 4ª	D T3 OE 1ª	T3 C 5ª	D T3 C 4ª	T2 OE 2ª
T2 C 4ª	T3 C 2ª	O T2 OE 3ª	T3 FOTO	O T4 OE 2ª	T2 C 4ª
T1 OE 4ª	T2 FOTO	R T2 FOTO	T2 OE 2ª	R T2 C 1ª	T1 C 1ª
T2 C 2ª	T4 C 1ª	T4 OE 3ª	T2 OE 1ª	T3 OE 2ª	T2 OE 3ª
T3 OE 2ª	T4 C 1ª	T1 C 2ª	T2 C 4ª	T4 OE 3ª	T2 C 5ª
T3 OE 1ª	T2 C 5ª	T2 C 3ª	T1 OE 3ª	T4 C 3ª	T1 C 4ª
T3 C 1ª	T3 OE 3ª	T4 C 1ª	T4 C 5ª	T3 OE 4ª	T1 C 2ª
T4 C 5ª	T3 OE 3ª	T1 C 5ª	T2 C 3ª	T1 FOTO	T3 OE 4ª
T4 OE 2ª	T4 C 4ª	T2 C 1ª	T1 OE 2ª	T2 OE 4ª	T2 FOTO
T2 OE 1ª	T2 OE 2ª	T4 C 2ª	T4 C 2ª	T1 C 5ª	T1 OE 3ª
T2 OE 4ª	T2 C 2ª	T4 C 4ª	T2 C 4ª	T1 OE 1ª	T1 OE 3ª
T2 OE 4ª	T2 OE 2ª	T3 C 4ª	T2 OE 3ª	T1 OE 4ª	T1 OE 2ª
T3 C 1ª	T3 C 5ª	T3 OE 2ª	T4 C 2ª	T2 OE 1ª	T4 C 3ª

**Figura 1.** Esquema da distribuição dos vasos ao acaso nas três bancadas da casa de vegetação com plantas de *Mentha piperita* L., submetidas aos diferentes tratamentos com variação dos níveis de N, P, K e Mg (T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub> e T<sub>4</sub>) e avaliadas, em diferentes colheitas (1ª, 2ª, 3ª, 4ª e 5ª) realizadas entre março e junho de 2005. A designação, C, OE ou FOTO indica a utilização do vaso para avaliação de crescimento, de óleo essencial ou de trocas gasosas.



**Figura 2.** Etapas da condução do experimento com *Mentha piperita* L. Disposição das plantas de *Mentha piperita* L. Estacas em solução de  $\text{KNO}_3$ ,  $600\text{mg L}^{-1}$  (A e B), na casa de vegetação na data da instalação do experimento (C), Plantas aos 15 dias após transplante (D), DAT; aos 30 DAT (E); aos 90 DAT (E).

## **5.4. Colheita e preparo do material**

Durante todo o experimento, avaliações macroscópicas, com observações de sinais visuais das plantas submetidas aos diferentes tratamentos foram realizadas diariamente.

### **5.4.1. Determinações fisiológicas**

Seguindo a metodologia utilizada por Boaro (2001), em todas as colheitas, realizadas aos 20, 35, 50, 65 e 85 dias após transplante, a planta de cada repetição, dos vários tratamentos, após a determinação de seu comprimento foi separada em raízes, caules, pecíolos e lâminas foliares. Todos os órgãos, inclusive as lâminas foliares, após a determinação da área foliar em  $\text{dm}^2$  com auxílio de integralizador de área foliar, modelo LI 3100 da LI-COR, foram acondicionados em sacos de papel etiquetados e colocados para secar em estufa com circulação forçada de ar, a uma temperatura entre 60 e 70°C, até obtenção de massa constante. Após a secagem completa, o material foi pesado em balança analítica Ohaus tipo Analytical Standard com sensibilidade de até 0,1 mg, para determinação de sua massa seca. A área foliar e a massa seca de lâminas foliares e totais das plantas foram ajustadas em relação ao tempo segundo a equação exponencial quadrática 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, segundo Portes & Castro Júnior (1991). A razão de massa foliar e a distribuição de massa seca foram calculadas de acordo com Benincasa (2003).

Assim, foram avaliadas as variáveis abaixo registradas:

### **Comprimento de parte aérea**

Definido como a distância, em cm, do colo da planta até sua extremidade apical.

### **Área foliar**

Definida como a somatória das áreas de todas as lâminas foliares da planta.

### **Massa seca**

A massa seca de cada órgão, ou seja, de raízes, caules e pecíolos e lâminas foliares, foi definida como seu peso, expresso em gramas. A massa seca total correspondeu à soma das massas de todos os órgãos existentes, em cada colheita.

### **Razão de massa foliar (RMF)**

Índice que expressa a fração de matéria seca não exportada das folhas para o resto da planta. A maior ou menor exportação de material da folha pode ser uma característica genética a qual está sob a influencia de variáveis ambientais (BENINCASA, 2003). Esta variável foi calculada pela relação entre massa seca da folha (MSF) e a massa seca total (MST) da planta.

$$RMF = \frac{MSF}{MST}$$

### **Distribuição de massa seca**

A distribuição de massa seca nos diferentes órgãos ou regiões de interesse foi calculada em porcentagem de matéria seca de cada órgão em relação à massa seca total, nas diferentes colheitas. Essa variável permite inferir sobre a translocação orgânica (BENINCASA, 2003).

### **Taxa assimilatória líquida (TAL)**

A taxa assimilatória líquida ( $\text{g dm}^{-2}\text{dia}^{-1}$ ) que expressa a taxa de fotossíntese líquida, em termos de massa seca produzida, em gramas, por decímetro quadrado de área foliar, por unidade de tempo (BENINCASA, 2003) foi obtida pela equação abaixo registrada após o ajuste da área foliar e massa seca pela equação exponencial quadrática por meio do Programa ANACRES (PORTES e CASTRO JÚNIOR, 1991).

$$\text{TAL} = \frac{(b + 2ct).a.e^{(bt+ct^2)}}{a_1.e^{(b_1+c_1t^2)}}$$

### **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 massa seca, está relacionado ao peso de massa seca no instante em que se inicia o período de observação (BENINCASA, 2003). Este índice ( $\text{g g}^{-1} \text{dia}^{-1}$ ) foi calculado pela equação abaixo após ajuste da área foliar e massa seca pela equação exponencial quadrática por meio do Programa ANACRES (PORTES & CASTRO JÚNIOR, 1991).

$$\text{TCR} = d \ln \frac{a.e^{(bt+ct^2)}}{dt}$$

### **Razão de área foliar (RAF)**

A razão de área foliar ( $\text{dm}^2 \text{g}^{-1}$ ) 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  $\text{CO}_2$ , e massa seca total (MST), resultado da fotossíntese, segundo a equação:

$$\text{RAF} = \frac{\text{AF}}{\text{MST}}$$

### Área foliar específica (AFE)

Este índice que reflete o inverso da espessura da folha ( $\text{dm}^2 \text{g}^{-1}$ ) (BENINCASA, 2003) foi obtido pela razão entre a área foliar (AF) e a massa seca de folhas (MSF).

$$\text{AFE} = \frac{\text{AF}}{\text{MSF}}$$

#### 5.4.2. Medidas de trocas gasosas

As medidas de trocas gasosas foram realizadas com sistema aberto portátil de fotossíntese, com analisador de  $\text{CO}_2$  por radiação infra-vermelha (“Infra Red Gas Analyser-IRGA”, Modelo Li-6400, LI-COR, USA).

O equipamento possui uma câmara onde são feitas as medidas da assimilação de  $\text{CO}_2$  e liberação de vapor de água, através dos estômatos da folha por transpiração. A variação da concentração de  $\text{CO}_2$  do ar que entra nessa câmara e o fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (FFFA) são controlados pelo próprio equipamento, que permite a entrada de  $\text{CO}_2$  puro, além de possuir fonte de luz na própria câmara.

A temperatura desta câmara também pode ser controlada e fixada, com a introdução de ar com umidade e temperatura constantes, produzido por aparelho gerador de ar à temperatura de ponto de orvalho (“Dew point Generator”, Modelo Li-610, LI-Cor), de modo a que ocorra equilíbrio dentro da câmara mantendo ambiente com umidade relativa constante. Com isso, pode-se submeter à folha a ser medida a equilíbrio em ambiente com luz, temperatura do ar e umidade relativa constantes.

Dentro da câmara do IRGA, a fonte de luz foi regulada para permanecer em  $1000 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  de fótons, a temperatura em  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  e a umidade relativa dentro da câmara entre 65% e 70% (déficit de pressão de vapor à superfície da folha ao redor de 1,2 KPa).

Essas medidas, abaixo relacionadas, foram efetuadas na região

mediana de folhas bem desenvolvidas, com o limbo foliar completamente expandido. Para a obtenção desses dados, foi sorteada, ao acaso, uma folha, que ao ser medida permaneceu em equilíbrio dentro da câmara, por 10 a 15 minutos, antes do registro dos valores.

**Taxa de assimilação ( $A$ ,  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), transpiração ( $E$ ,  $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), condutância estomática ( $g_s$ ,  $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) e concentração intercelular de  $\text{CO}_2$  na folha ( $C_i$ ,  $\mu\text{mol mol}^{-1}$ ). Valores pontuais.**

Foram realizadas cinco avaliações aos 28, 35, 50, 64 e 83 dias após o transplante (DAT) determinando-se a taxa de assimilação ( $A$ ), a transpiração ( $E$ ), a condutância estomática ( $g_s$ ) e a concentração intercelular de  $\text{CO}_2$  na folha ( $C_i$ ), sob condições normais de  $\text{CO}_2$  no ar ( $C_e$ ), em torno de  $360 \mu\text{mol mol}^{-1}$  e déficit de pressão de vapor DPV próximo de 1,2 KPa.

### **Análise de curva $A/C_i$**

Avaliações que propiciaram a montagem de curvas de assimilação de  $\text{CO}_2$  em função da variação do  $\text{CO}_2$  intercelular (curva  $A/C_i$ ) foram realizadas e possibilitaram o cálculo do efeito da resistência estomática sobre a fotossíntese ( $S\%$ ), além da estimativa da eficiência da enzima rubisco. Para a obtenção da curva, foram plotados valores de fotossíntese líquida ( $A$ ) contra os respectivos valores de concentração intercelular de  $\text{CO}_2$  na folha ( $C_i$ ). Utilizou-se de 12 a 13 concentrações diferentes de  $\text{CO}_2$ , partindo-se sempre de concentrações mais baixas, como, por exemplo,  $80 \mu\text{mol mol}^{-1}$  e chegando-se até  $900 \mu\text{mol mol}^{-1}$ .

À medida que a fotossíntese líquida se aproxima de valores nulos, o  $\text{CO}_2$  torna-se o principal fator limitante do processo. Deste modo, pode-se dizer que a inclinação inicial da curva  $A/C_i$  representa a estimativa da atividade da enzima rubisco (FARQUHAR & SHARKEY, 1982). Com base nisso, o intervalo de valores de  $C_i$  que resultam em aumentos lineares na taxa de fotossíntese foi utilizado para o ajuste linear e o coeficiente angular da reta foi considerado como a estimativa da eficiência da enzima Rubisco.

Foram utilizadas 12 curvas  $A/C_i$  para a estimativa da eficiência da enzima Rubisco, para cada tratamento. A partir dessas equações ajustadas para os quatro

tratamentos foi possível calcular o ponto de compensação de CO<sub>2</sub>, expresso como concentração intercelular de CO<sub>2</sub> na folha. Outra relação entre  $C_i$  e  $C_e$  foi estabelecida para cada curva dos tratamentos, podendo-se conhecer o valor do ponto de compensação de CO<sub>2</sub>, expresso agora em concentração externa de CO<sub>2</sub> à folha ( $\mu\text{mol mol}^{-1}$ ). Os coeficientes angulares e os valores dos pontos de compensação de CO<sub>2</sub> é que foram comparados estatisticamente.

A elaboração da curva  $A/C_i$  permite também determinar o efeito da resistência estomática ou do mesofilo sobre a fotossíntese, em função da ocorrência de fatores estressantes, bióticos ou abióticos (FARQUHAR & SHARKEY, 1982).

O efeito da limitação dos estômatos sobre a fotossíntese pode ser calculado quando a fotossíntese líquida, a certa concentração externa de CO<sub>2</sub> ( $AC_e$ ), é subtraída da fotossíntese líquida, no momento em que a concentração intercelular de CO<sub>2</sub> ( $AC_i$ ), equilibra-se com a concentração externa. E neste caso, a fotossíntese líquida encontraria-se numa taxa que representa a ausência dos estômatos limitando o acesso ao CO<sub>2</sub> ambiente. Logo, a limitação da fotossíntese imposta pelos estômatos pode ser estimada pela equação  $S\% = [(AC_i - AC_e) / AC_i] * 100$  (FARQUHAR & SHARKEY, 1982).

Os dados de cada curva  $A/C_i$  (12 curvas para cada tratamento) foram plotados e ajustados pela equação logarítmica ( $y = a \ln(x) - b$ ). Os valores de  $AC_i$  e  $AC_e$  ajustados pelas equações de cada curva, foram aplicados à equação acima, sendo os valores do efeito relativo da resistência estomática sobre a fotossíntese ( $S\%$ ) submetidos à análise estatística.

Para os dados de assimilação de CO<sub>2</sub>, transpiração, concentração intercelular de CO<sub>2</sub> e condutância estomática foram realizadas duas leituras entre 9:00 e 10:00 horas e entre 14:00 e 15:30 horas para cada avaliação e para o ponto de compensação de CO<sub>2</sub>, resistência estomática e eficiência de carboxilação da Rubisco foi realizada uma leitura para cada avaliação.

#### **5.4.3. Rendimento e Composição do óleo essencial**

O material vegetal, após ter sido colhido, foi pesado e acondicionado em sacos de papel e colocados em estufas com circulação forçada de ar, a uma temperatura de 40°C, por



três dias. No terceiro dia foi determinada a massa seca e o material foi colocado em aparelho de destilação do tipo Clevenger para a hidro-destilação, no Laboratório de Óleos Essenciais do Departamento de Produção Vegetal da FCA – UNESP, Campus Botucatu.

Foram colocados 30 gramas de massa seca de parte aérea de *Mentha piperita* L. em balão de fundo chato com capacidade de 2000 mL, adicionando-se água até cobrir a amostra, que em seguida foi aquecida, por uma hora e meia. O óleo essencial extraído após destilação foi acondicionado em frasco de cor âmbar e armazenado em freezer a temperatura de  $-5^{\circ}\text{C}$  até a avaliação da análise da sua composição química. O rendimento do óleo essencial foi calculado com base no peso final do frasco de armazenamento do óleo menos o seu peso inicial do frasco vezes 100, Obtendo-se assim, o rendimento em porcentagem para 30g de massa seca.

A análise da composição do óleo essencial foi realizada no Centro de Pesquisa, Desenvolvimento e Recursos Genéticos Vegetais do Instituto Agrônomo de Campinas, em Campinas – SP.

Para tanto, utilizou-se cromatógrafo a gás acoplado a espectrômetro de massas (Shimadzu, QP-5000), em equipamento dotado de coluna capilar DB-5 (30 x 0,25mm x 0,25  $\mu\text{m}$ ), gás de arraste Hélio (1,7 mL/min.), split: 1/30 com o seguinte programa de temperatura:  $50^{\circ}\text{C}$  (5 min.) –  $180^{\circ}\text{C}$ ,  $5^{\circ}\text{C}/\text{min.}$ ;  $180^{\circ}\text{C}$  –  $280^{\circ}\text{C}$ ,  $10^{\circ}\text{C}/\text{min.}$

Para a identificação das substâncias utilizou-se o banco de dados do sistema CG-EM (Nist. 62 library), literatura (McLafferty e STAUFFER, 1989) e índice de retenção de Kovats (ADAMS, 2001). Assim, as substâncias presentes no óleo foram determinadas em porcentagem.

#### **5.4.4. Determinação dos teores de nutrientes**

Após a secagem completa a  $60^{\circ}\text{C}$  de temperatura, o material foi pesado em balança analítica Ohaus tipo Analytical Standard com sensibilidade de até 0,1 mg, para determinação de sua massa seca. Após a moagem do material vegetal seco, foram preparados os extratos conforme Malavolta et al. (1989) para a determinação dos macro e micronutrientes

utilizando-se o método analítico espectrofotometria de absorção atômica.

### **5.5. Delineamento experimental**

Para avaliação de crescimento o delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com quatro repetições, em esquema fatorial 4x5, ou seja, quatro tratamentos e cinco épocas de colheita, de modo a cobrir parte do ciclo do vegetal. O delineamento experimental para às medidas de trocas gasosas foi em parcela subdividida com quatro repetições e cinco leituras. Na análise do óleo essencial o delineamento foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 4x4, ou seja, quatro tratamentos com quatro épocas de colheitas.

### **5.6. Análise estatística dos resultados**

Os resultados obtidos foram avaliados estatisticamente por meio de análises de variância do fatorial e de regressão polinomial, utilizando-se o nível de 5% de significância. Utilizou-se o programa computacional SAS (The SAS System Release 8.2. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA. 1999-2001).

Os tratamentos, constituídos pela variação entre os níveis de nutrientes foram avaliados por análise de variância. A seguir as comparações entre médias de tratamentos foram realizadas por meio do teste Tukey, ao nível de 5% de probabilidade (ZAR, 1996). Maiores destaques foram dados para as diferenças observadas entre os vários tratamentos e aquele em que as plantas foram submetidas à solução completa, ou seja, com 100% de N, P, K e Mg.

Avaliou-se o fator colheita, ou seja, idade das plantas por meio de análise de regressão.

Foram executados gráficos para a visualização do comportamento do vegetal, submetido aos quatro tratamentos, com variação dos níveis de N, P, K e Mg, durante seu ciclo de desenvolvimento. Quando a análise de variância revelou interação entre níveis de

nutrientes e colheita, os quatro tratamentos tiveram suas curvas ajustadas, segundo o polinômio definido na análise de regressão. Se este não foi o caso, se fez o ajuste, apenas das médias obtidas entre os quatro tratamentos, com os diferentes níveis de nutrientes, em cada colheita, verificando-se assim, uma quinta curva nos gráficos.

As variáveis, comprimento de parte aérea, área foliar, massa seca dos diversos órgãos e total das plantas apresentaram variância heterogênea entre tratamentos, sendo por este motivo avaliadas por análise de regressão ponderada e, para análise de variância, foram realizadas transformações logarítmicas dos resultados.

Os resultados dos índices fisiológicos, derivadas, que compõem a análise de crescimento foram estimados pelo programa ANACRES, após ajuste da área foliar e massa seca em relação ao tempo, de acordo com as especificações de Portes e Castro Júnior (1991).

## 6. Resultados e Discussão

### 6.1. Comprimento de parte aérea

As tendências de variação do comprimento de parte aérea de *Mentha piperita* L. submetida aos diferentes níveis de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio nas várias colheitas, podem ser observadas na Figura 3.

O comprimento de parte aérea apresentou tendência de aumentar durante o ciclo de desenvolvimento, não sendo verificadas diferenças nas plantas submetidas aos diferentes tratamentos (Figura 3).

A comparação de médias entre tratamentos, que pode ser observada na Tabela 2, revela que não houve diferença entre os tratamentos, apesar das plantas cultivadas com 50% de N, P, K e 25% de Mg apresentarem tendência de menor média entre os tratamentos. Essa tendência de menor desenvolvimento poderia ser decorrente de menor absorção dos elementos minerais principalmente nitrogênio e fósforo, da menor capacidade fotossintética das plantas e da necessidade de distribuição de matéria orgânica entre

crescimento foliar e radicular. As Tabelas 33 e 34 demonstram que essas plantas não apresentaram diferença de absorção de nutrientes, em relação às demais, mas, tenderam à maior distribuição de massa seca para raízes (Tabela 9). Apesar da tendência de menor comprimento de parte aérea, essas plantas com 50% de N, P, K e 25% de Mg não mostraram sinais de deficiência durante o ciclo de desenvolvimento.

As plantas nutridas com 65% de N, 50% de P, 25% de K e 100% de Mg apresentaram tendência de maior média de comprimento de parte aérea, indicando que quando se considera esta variável, a menta pode ser cultivada reduzindo-se os níveis de N, P e K.

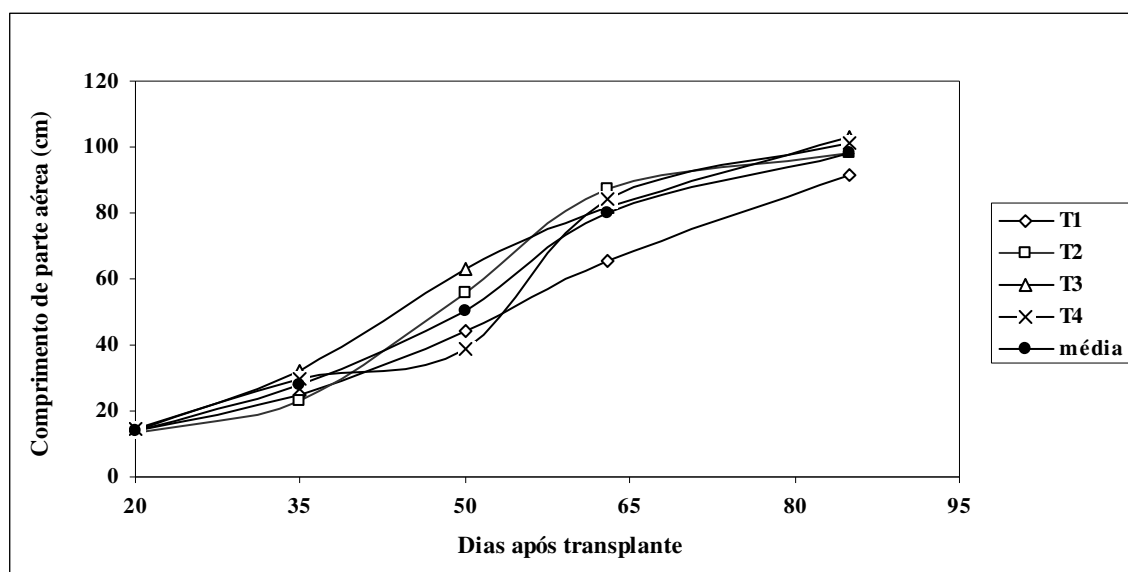
Os resultados do presente estudo discordam, em parte, dos verificados por Leal (2001), Valmorbida (2007) e David (2007) ao cultivarem *Mentha piperita* L. respectivamente, com diferentes níveis de N, K e P. Os autores observaram maiores comprimentos de parte aérea quando as plantas foram nutridas com 105,0 mg L<sup>-1</sup> de N, nível estabelecido para a solução completa, 117,0 mg L<sup>-1</sup> de K, nível com redução de 50% e 31,0 mg L<sup>-1</sup> de P, nível encontrado na solução completa. Deve-se, no entanto, destacar que no presente estudo, as reduções foram realizadas para os três nutrientes N, P e K, enquanto nos demais houve sempre redução de apenas um dos minerais.

Discordam também daqueles encontrados por Jeliaskova et al. (1999), que verificaram aumento da altura de plantas das três cultivares de menta, Tundza, Zephir e Clone nº 1, com o aumento dos níveis de N, P e K. Zheljaskov & Margina (1996) ao trabalharem com cultivares de menta em vários níveis de N e P, também observaram que o aumento das taxas de fertilizantes aumentou a altura de plantas. Santos et al. (2002) ao cultivaram *Ocimum basilicum* L., em soluções nutritivas modificadas nas dosagens de seus nutrientes para valores inferiores e superiores àqueles estabelecidos na solução completa observaram as maiores alturas nas plantas cultivadas em solução nutritiva completa.

**Tabela 2.** Análise de variância e comparação entre médias de comprimento de parte aérea, em cm, de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005.

Análise de variância (Teste F)						
Níveis de N, P, K e Mg	Colheita	Interação Colheita x Níveis de N, P, K e Mg				
0,87	92,79*	0,91				
* significância ao nível de 5%						
Comparação entre médias (Teste Tukey)						
Níveis N/ P/ K/ Mg em relação à solução completa	Colheita (Dias após transplante)					Média níveis de N/P/K/Mg
	1ª(20)	2ª(35)	3ª(50)	4ª(65)	5ª(85)	
50% N, P, K e 25% Mg	14,00	25,00	44,125	65,750	91,750	48,125
50% N, P, K e Mg	13,375	23,250	56,000	87,500	97,875	55,600
65 % N, 50% P, 25% K, 100% Mg	13,950	32,375	63,125	82,000	102,875	58,865
100% N, P, K e Mg	14,800	29,750	38,750	84,000	101,000	53,660
<b>Média das colheitas</b>	<b>14,031</b>	<b>27,594</b>	<b>50,500</b>	<b>79,813</b>	<b>98,375</b>	<b>56,195</b>

Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de  $\text{KNO}_3$ .



**Figura 3.** Comprimento de parte aérea de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de N, P, K e Mg, em  $\text{mg L}^{-1}$ , nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. Valores médios ajustados pela equação polinomial cúbica. Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de  $\text{KNO}_3$ .

T1 (50% N, P, K e 25% Mg) -  $94,0/15,5/107,5/12,15$  de N/P/K/Mg,  $\text{mg L}^{-1}$

T2 (50% N, P, K e Mg) -  $94,0/15,5/107,5/24,3$  de N/P/K/Mg,  $\text{mg L}^{-1}$

T3 (65 % N, 50% P, 25% K, 100% Mg) -  $124,0/15,5/53,6/48,6$  de N/P/K/Mg,  $\text{mg L}^{-1}$

T4 (100% N, P, K e Mg) -  $189,0/31,0/214,5/48,6$  de N/P/K/Mg,  $\text{mg L}^{-1}$

## 6.2. Área foliar

As tendências de variação da área foliar de *Mentha piperita* L., submetida aos diferentes níveis de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio nas várias colheitas, podem ser observadas na Figura 4.

A área foliar aumentou durante o ciclo de desenvolvimento, não sendo verificadas diferenças nas plantas submetidas aos diferentes tratamentos (Figura 4).

A comparação de médias entre tratamentos que pode ser observada na Tabela 3 revela que as plantas submetidas ao tratamento com 50% de N, P, K e Mg apresentaram discreta tendência de maior área foliar. Realizou-se teste de contraste e aos 20 dias após transplante, demonstrou-se maior área nessas plantas.

O nitrogênio é, em geral, o elemento que as plantas necessitam em maior quantidade. O seu efeito externo mais visível é a vegetação verde e abundante (MALAVOLTA, 1979). Tal efeito não foi verificado no presente estudo, pois apesar do aumento de N na solução completa não ocorreu aumento da área foliar.

Lima et al. (1999) observaram maior área foliar em plantas de feijão cultivadas com elevadas doses de N ( $7,5 \text{ mol m}^{-3}$ ) e P ( $0,5 \text{ mol m}^{-3}$ ). Leal (2001) e David (2007) ao cultivarem *Mentha piperita*, com variação de N e P, respectivamente, observaram maior área foliar quando as plantas foram nutridas com solução nutritiva completa. No presente estudo, as plantas cultivadas com solução completa não apresentaram maior área.

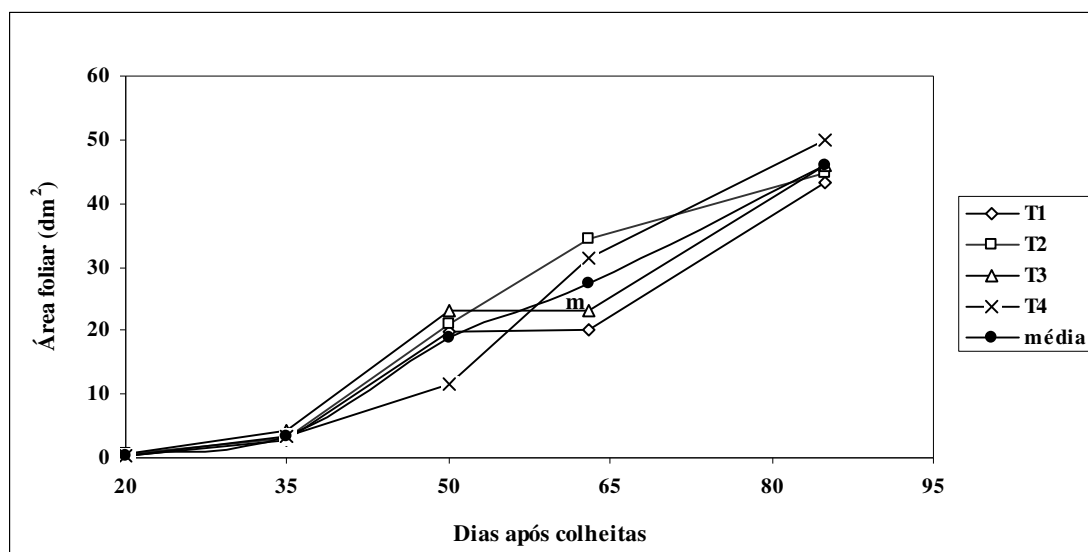
**Tabela 3.** Análise de variância e comparação entre médias de área foliar, em  $\text{dm}^2$ , de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005.

Análise de variância (Teste F)		
Níveis de N, P, K e Mg	Colheita	Interação Colheita x Níveis de N, P, K e Mg
1,19	190,50*	0,77

\* significância ao nível de 5%

Comparação entre médias (Teste Tukey)						
Níveis N/ P/ K/ Mg em relação à solução completa	Colheita (Dias após transplante)					Média níveis de N/P/K/Mg
	1 <sup>a</sup> (20)	2 <sup>a</sup> (35)	3 <sup>a</sup> (50)	4 <sup>a</sup> (65)	5 <sup>a</sup> (85)	
50% N, P, K e 25% Mg	0,407	2,656	19,845	20,123	43,121	<b>17,231</b>
50% N, P, K e Mg	0,504	3,050	20,930	34,563	44,885	<b>20,787</b>
65 % N, 50% P, 25% K, 100% Mg	0,502	4,129	23,262	22,999	45,867	<b>19,352</b>
100% N, P, K e Mg	0,163	3,301	11,545	31,426	50,099	<b>19,308</b>
<b>Média das colheitas</b>	<b>0,394</b>	<b>3,284</b>	<b>18,897</b>	<b>27,278</b>	<b>45,993</b>	<b>19,169</b>

Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de  $\text{KNO}_3$ .



**Figura 4.** Área foliar de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de N, P, K e Mg, em  $\text{mg L}^{-1}$ , nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. Valores ajustados pela equação polinomial quadrática. Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de  $\text{KNO}_3$ .

T1 (50% N, P, K e 25% Mg) -  $94,0/15,5/107,5/12,15$  de N/P/K/Mg,  $\text{mg L}^{-1}$

T2 (50% N, P, K e Mg) -  $94,0/15,5/107,5/24,3$  de N/P/K/Mg,  $\text{mg L}^{-1}$

T3 (65 % N, 50% P, 25% K, 100% Mg) -  $124,0/15,5/53,6/48,6$  de N/P/K/Mg,  $\text{mg L}^{-1}$

T4 (100% N, P, K e Mg) -  $189,0/31,0/214,5/48,6$  de N/P/K/Mg,  $\text{mg L}^{-1}$



### 6.3. Massa seca de raízes

As tendências de variação da massa seca de raízes de *Mentha piperita* L., submetida aos diferentes níveis de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio nas várias colheitas, podem ser observadas na Figura 5.

A massa seca de raízes apresentou durante o ciclo de desenvolvimento aumento durante as avaliações, com exceção das plantas nutridas com 50% N, P, K e Mg que dos 50 aos 65 DAT apresentaram tendência de maior massa seca de raízes, decaindo a seguir (Figura 5).

Na literatura encontram-se registros do potássio como elemento essencial no enraizamento inicial (SOARES e SACRAMENTO, 2001) e no crescimento do sistema radicular. Entretanto, no presente estudo, a comparação de médias entre tratamentos (Tabela 4) revela que as plantas nutridas com 65% de N, 50% de P, 25% de K e 100% de Mg, tratamento que contém o menor nível de potássio, apresentaram tendência de maior massa seca de raízes. Dessa forma, esse nível de potássio e sua relação com os demais, foi suficiente para garantir a massa seca nesse órgão. A Tabela 33 e a Tabela 34 revelam que essas plantas absorveram menos potássio, que se encontrou em menor teor em folhas e hastes.

Santos et al. (2002) cultivaram *Ocimum basilicum* L. e demonstraram que soluções nutritivas com concentrações reduzidas em 50 e 75% de nutrientes resultaram em menor massa seca de raiz, concordando, em parte, com os resultados obtidos no presente estudo, quando as plantas foram cultivadas com as maiores reduções de nutrientes e apresentaram tendência, em média, de menor matéria seca de raiz.

Leal (2001), Valmorbidia (2007) e David (2004) obtiveram maior massa seca de raízes quando as plantas foram cultivadas, respectivamente, com solução completa para N e decrescida de 50% de K e P. Deve ser ressaltado que esses autores avaliaram separadamente os nutrientes, e no presente estudo os elementos foram avaliados em conjunto.

Maia (1998) avaliando plantas de *Mentha arvensis* cultivadas em solução nutritiva, concluiu que as raízes representavam 11,28% massa seca total da planta. O autor registra que essa baixa proporção de raízes pode ser o motivo pelo qual a menta é

considerada uma planta exigente em fertilidade, com pequena quantidade de raízes para absorver os nutrientes necessários para uma grande quantidade de massa de material verde. Dessa forma, a planta necessita ter à sua disposição maior quantidade de nutrientes. No presente estudo, os menores níveis de nutrientes que caracterizaram o tratamento com 50% de N, P, K e 25% de Mg, resultaram em plantas com tendência de menor massa seca de raízes, que de fato não foram suficientes para garantir a absorção de Mg, em nível igual ao das raízes de plantas submetidas à solução completa, como pode ser observado na Tabela 33.

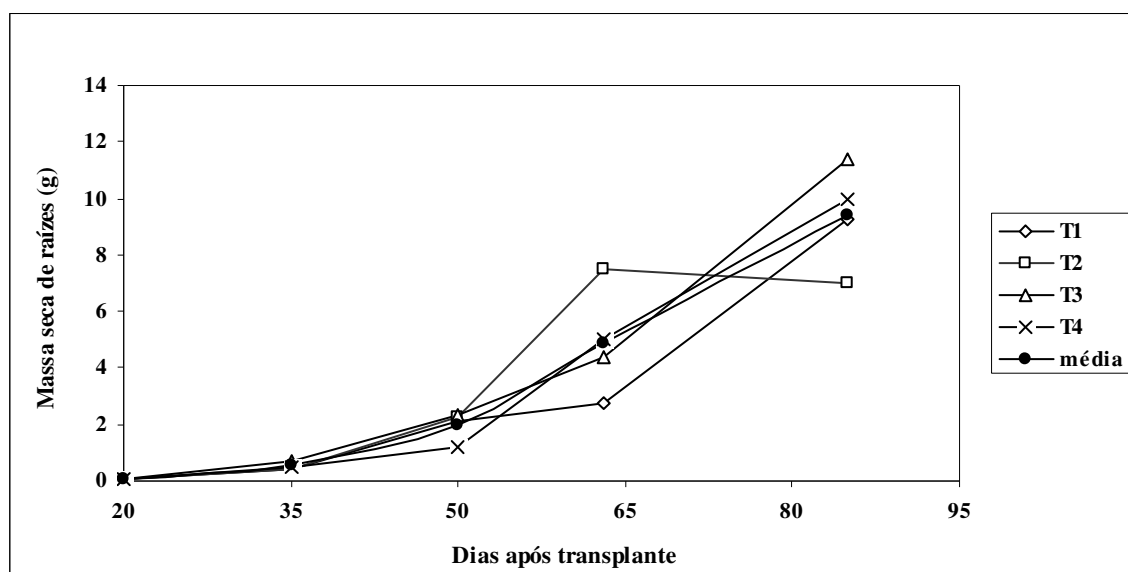
**Tabela 4.** Análise de variância e comparação entre médias de massa seca de raízes, em g, de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005.

Análise de variância (Teste F)		
Níveis de N, P, K e Mg	Colheita	Interação Colheita x Níveis de N, P, K e Mg
0,80	90,19 *	1,19

\* significância em nível de 5%

Comparação entre médias (Teste Tukey)						
Níveis N/ P/ K/ Mg em relação à solução completa	Colheita (Dias após transplante)					Média níveis de N/P/K/Mg
	1 <sup>a</sup> (20)	2 <sup>a</sup> (35)	3 <sup>a</sup> (50)	4 <sup>a</sup> (65)	5 <sup>a</sup> (85)	
50% N, P, K e 25% Mg	0,0980	0,4250	2,1000	2,7750	9,2750	2,935
50% N, P, K e Mg	0,0978	0,4500	2,2750	7,5250	7,0000	3,470
65 % N, 50% P, 25% K, 100% Mg	0,0675	0,7250	2,3500	4,3500	11,3500	3,769
100% N, P, K e Mg	0,0375	0,5250	1,1750	5,0000	10,0000	3,348
<b>Média das colheitas</b>	<b>0,075</b>	<b>0,531</b>	<b>1,975</b>	<b>4,913</b>	<b>9,406</b>	<b>3,380</b>

Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de KNO<sub>3</sub>.



**Figura 5.** Massa seca de raízes de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de N, P, K e Mg, em mg L<sup>-1</sup>, nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. Valores ajustados pela equação linear. Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de KNO<sub>3</sub>.

T1 (50% N, P, K e 25% Mg) - 94,0/15,5/107,5/12,15 de N/P/K/Mg, mg L<sup>-1</sup>

T2 (50% N, P, K e Mg) - 94,0/15,5/107,5/24,3 de N/P/K/Mg, mg L<sup>-1</sup>

T3 (65 % N, 50% P, 25% K, 100% Mg) - 124,0/15,5/53,6/48,6 de N/P/K/Mg, mg L<sup>-1</sup>

T4 (100% N, P, K e Mg) - 189,0/31,0/214,5/48,6 de N/P/K/Mg, mg L<sup>-1</sup>

#### 6.4. Massa seca de caule e pecíolos

As tendências de variação da massa seca de caule e pecíolos de *Mentha piperita* L. submetida aos diferentes níveis de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio nas várias colheitas, podem ser observadas na Figura 6.

A massa seca de caule e pecíolos apresentou durante o ciclo de desenvolvimento, tendência de manter-se mais elevada nas plantas cultivadas com 65 % N, 50% P, 25% K, 100% Mg, que também apresentaram tendência de maior massa seca de raízes (Tabela 5).

Os resultados do presente estudo discordam dos verificados por Leal (2001), Valmorbida (2007) e David (2007), que ao variarem respectivamente as concentrações de N, K e P, nas soluções de cultivo, obtiveram a maior massa seca de caule e pecíolos nas plantas cultivadas com os níveis desses elementos preconizados na solução nutritiva completa. Discordam também dos verificados por Zheljzakov e Margina (1996), que observaram aumento na ramificação com maiores níveis de fertilização. Deve, no entanto, ser ressaltado que os estudos de todos os autores avaliaram variações de apenas um nutriente na solução nutritiva, enquanto, no presente estudo, suas variações foram avaliadas em conjunto.

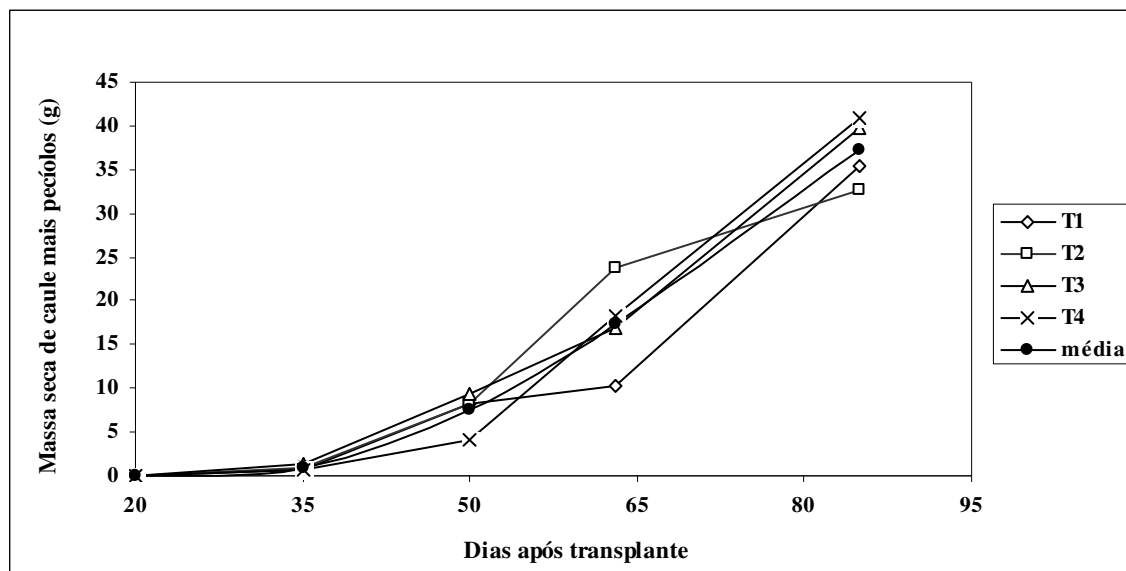
**Tabela 5.** Análise de variância e comparação entre médias de massa seca de caule mais pecíolos, em g, de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005.

Análise de variância (Teste F)		
Níveis de N, P, K e Mg	Colheita	Interação Colheita x Níveis de N, P, K e Mg
0,85	134,83 *	0,70

\* significância ao nível de 5%

Comparação entre médias (Teste Tukey)						
Níveis N/ P/ K/ Mg em relação à solução completa	Colheita (Dias após transplante)					Média níveis de N/P/K/Mg
	1ª(20)	2ª(35)	3ª(50)	4ª(65)	5ª(85)	
50% N, P, K e 25% Mg	0,995	0,725	8,250	10,350	35,375	11,139
50% N, P, K e Mg	0,092	0,875	8,000	23,650	32,750	13,108
65 % N, 50% P, 25% K, 100% Mg	0,112	1,350	9,425	17,000	39,670	13,487
100% N, P, K e Mg	0,072	0,725	4,200	18,325	41,000	12,865
<b>Média das colheitas</b>	<b>0,318</b>	<b>0,919</b>	<b>7,513</b>	<b>17,300</b>	<b>37,199</b>	<b>12,650</b>

Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de KNO<sub>3</sub>.



**Figura 6.** Massa seca de caule mais pecíolos de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de N, P, K e Mg, em mg L<sup>-1</sup>, nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. Valores médios ajustados pela equação polinomial quadrática. Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de KNO<sub>3</sub>.

T1 (50% N, P, K e 25% Mg) - 94,0/15,5/107,5/12,15 de N/P/K/Mg, mg L<sup>-1</sup>

T2 (50% N, P, K e Mg) - 94,0/15,5/107,5/24,3 de N/P/K/Mg, mg L<sup>-1</sup>

T3 (65 % N, 50% P, 25% K, 100% Mg) - 124,0/15,5/53,6/48,6 de N/P/K/Mg, mg L<sup>-1</sup>

T4 (100% N, P, K e Mg) - 189,0/31,0/214,5/48,6 de N/P/K/Mg, mg L<sup>-1</sup>

## 6.5. Massa seca de lâminas foliares

As tendências de variação da massa seca de lâminas foliares de *Mentha piperita* L., submetida aos diferentes níveis de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio nas várias colheitas, podem ser observadas na Figura 7.

A massa seca de lâminas foliares apresentou tendência de aumentar durante o ciclo de desenvolvimento, não sendo verificadas diferenças nas plantas submetidas aos diferentes tratamentos (Figura 7). No entanto, essa massa, durante o ciclo, apresentou tendência de manter-se mais elevada nas plantas nutridas com 65 % N, 50% P, 25% K, 100% Mg.

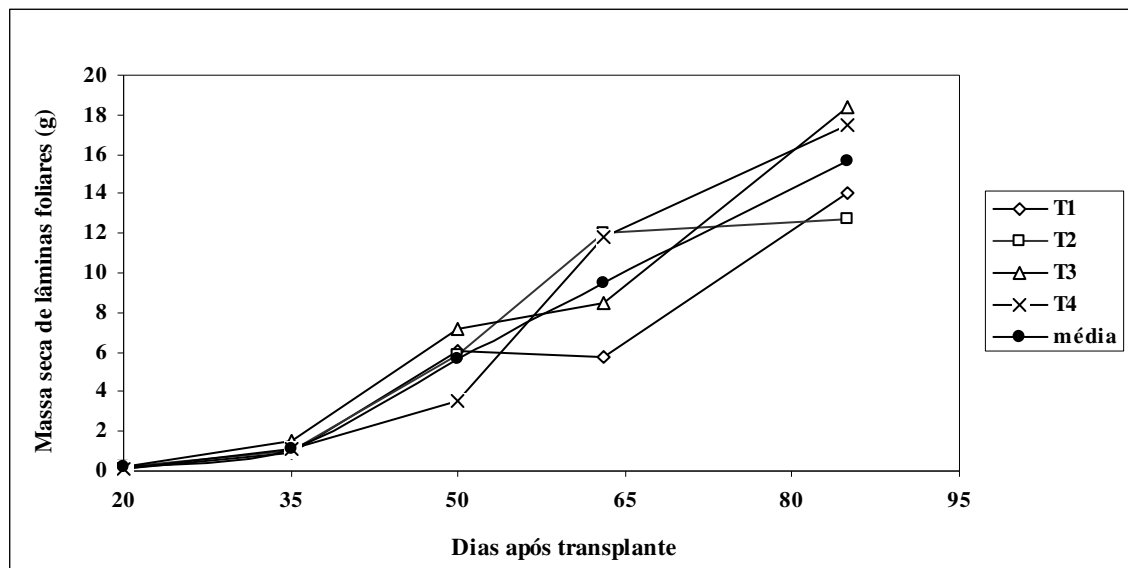
Ao comparar pelo teste de contraste de médias as plantas nutridas com 50% de N, P, K e 25% de Mg e as nutridas com 50% de N, P, K e Mg, verifica-se que aos 65 DAT, houve diferença entre esses tratamentos. As plantas nutridas com 50% de N, P, K e 25% de Mg e com 50% de N, P, K e Mg, foram submetidas aos mesmos níveis de N, P e K, sendo diferente apenas o nível de magnésio, reduzido em 75 e 50%, respectivamente. As plantas nutridas em solução, com redução de 50% de magnésio, mostraram tendência de menor massa seca de lâminas foliares quando comparadas ao tratamento com 100% de N, P, K e Mg (Tabela 6).

As plantas nutridas com 65 % N, 50% P, 25% K, 100% Mg, além de apresentarem tendência de maior massa seca de lâminas foliares, apresentaram também tendência de maior produção de massa seca de raízes e massa seca de caule mais pecíolos (Figuras 5 e 6). Essas plantas absorveram menor quantidade de K e maior de Mg, e de Mn, apresentando menor ou maior teor desses nutrientes nas lâminas foliares e nos caules e pecíolos.

**Tabela 6.** Análise de variância e comparação entre médias de massa seca de lâminas foliares, em g, de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005.

Análise de variância (Teste F)						
Níveis de N, P, K e Mg	Colheita	Interação Colheita x Níveis de N, P, K e Mg				
1,20	130,47 *	1,03				
* significância ao nível de 5%						
Comparação entre médias (Teste Tukey)						
Níveis N/ P/ K/ Mg em relação à solução completa	Colheita (Dias após transplante)					Média níveis de N/P/K/Mg
	1 <sup>a</sup> (20)	2 <sup>a</sup> (35)	3 <sup>a</sup> (50)	4 <sup>a</sup> (65)	5 <sup>a</sup> (85)	
<b>50% N, P, K e 25% Mg</b>	0,165	0,925	6,050	5,750	14,050	<b>5,388</b>
<b>50% N, P, K e Mg</b>	0,202	1,050	5,825	12,025	12,725	<b>6,366</b>
<b>65 % N, 50% P, 25% K, 100% Mg</b>	0,182	1,550	7,150	8,475	18,350	<b>7,142</b>
<b>100% N, P, K e Mg</b>	0,080	1,100	3,500	11,800	17,500	<b>6,796</b>
<b>Média das colheitas</b>	<b>0,157</b>	<b>1,156</b>	<b>5,031</b>	<b>9,512</b>	<b>15,656</b>	<b>6,423</b>

Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de KNO<sub>3</sub>.



**Figura 7.** Massa seca de lâminas foliares de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de N, P, K e Mg, em mg L<sup>-1</sup>, nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. Valores médios ajustados pela equação polinomial quadrática. Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de KNO<sub>3</sub>.

T1 (50% N, P, K e 25% Mg) - 94,0/15,5/107,5/12,15 de N/P/K/Mg, mg L<sup>-1</sup>

T2 (50% N, P, K e Mg) - 94,0/15,5/107,5/24,3 de N/P/K/Mg, mg L<sup>-1</sup>

T3 (65 % N, 50% P, 25% K, 100% Mg) - 124,0/15,5/53,6/48,6 de N/P/K/Mg, mg L<sup>-1</sup>

T4 (100% N, P, K e Mg) - 189,0/31,0/214,5/48,6 de N/P/K/Mg, mg L<sup>-1</sup>

## 6.6. Massa seca total

As tendências de variações das de massa seca total de *Mentha piperita* L., submetida aos diferentes níveis de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio nas várias colheitas, podem ser observadas na Figura 8.

A massa seca total, durante o ciclo de desenvolvimento, apresentou tendência de manter-se mais elevada nas plantas nutridas com 65 % N, 50% P, 25% K, 100% Mg, devido à tendência de maior massa seca de lâminas foliares, de raízes e de caule mais pecíolos apresentado pelas plantas submetidas a esse tratamento.

A comparação entre médias, que pode ser observada na Tabela 7, revelou que as plantas nutridas com 50% de N, P, K e 25% de Mg e com 50% de N, P, K e Mg apresentaram tendência de menor massa seca total. Apesar dessas plantas não terem apresentado sinais de deficiência de magnésio como clorose entre as nervuras foliares, ocorrendo, primeiro, nas folhas mais velhas por causa da mobilidade de tal elemento e abscisão foliar prematura (ZEIGER, 2004a; EPSTEIN e BLOOM, 2006), mostraram-se menos desenvolvidas em relação às outras plantas. Assim, o elemento na quantidade em que foi fornecido ao vegetal foi suficiente e o mesmo apresentou apenas tendência de menor massa seca total. Nesse aspecto, a quantidade necessária de Mg à clorofila foi satisfeita, uma vez que essas porfirinas contêm Mg correspondente a 2,7% de seu peso molecular, que resulta em 10% do teor total de Mg da folha.

Nas plantas nutridas com 50% de N, P, K e 25% de Mg, ou seja, com 25% de Mg pode ter ocorrido inibição competitiva entre os nutrientes, uma vez que os níveis de K e Ca se mantiveram maiores que o de Mg na solução. A literatura contém muitas referências sobre a inibição competitiva entre Mg e Ca de um lado e Mg e K de outro, o aumento na concentração de um elemento no meio pode implicar na diminuição da absorção do outro (MALAVOLTA, 1980).



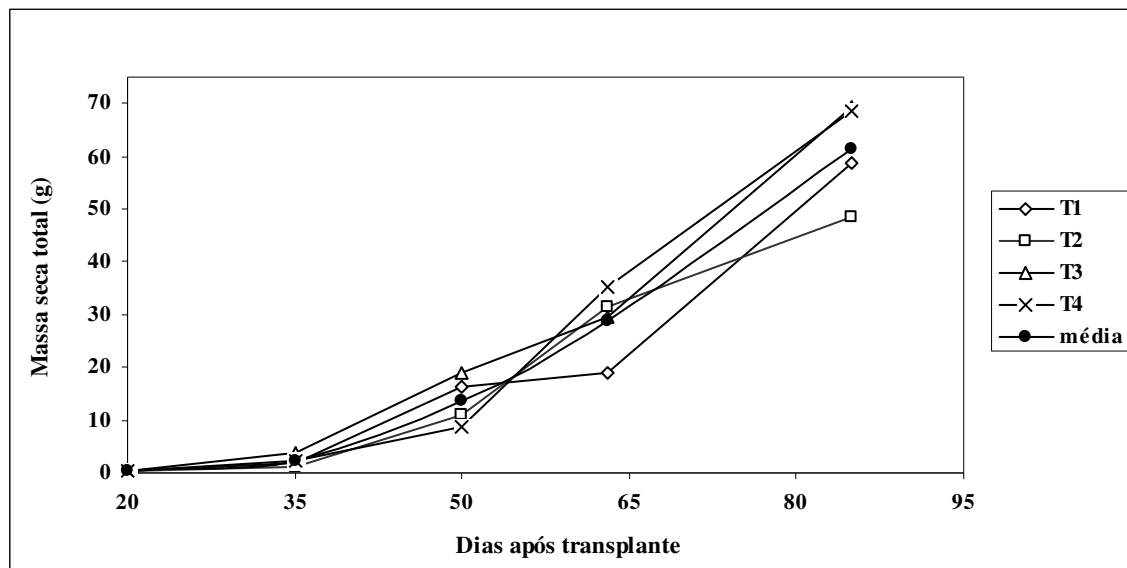
**Tabela 7.** Análise de variância e comparação entre médias de massa seca total, em g, de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005.

Análise de variância (Teste F)		
Níveis de N, P, K e Mg	Colheita	Interação Colheita x Níveis de N, P, K e Mg
1,29	168,39 *	0,82

\* significância ao nível de 5%

Comparação entre médias (Teste Tukey)						
Níveis N/ P/ K/ Mg em relação à solução completa	Colheita (Dias após transplante)					Média níveis de N/P/K/Mg
	1 <sup>a</sup> (20)	2 <sup>a</sup> (35)	3 <sup>a</sup> (50)	4 <sup>a</sup> (65)	5 <sup>a</sup> (85)	
50% N, P, K e 25% Mg	0,363	2,075	16,400	18,875	58,700	19,283
50% N, P, K e Mg	0,356	1,300	11,100	31,425	48,550	18,546
65% N, 50% P, 25% K, 100% Mg	0,362	3,625	18,925	29,700	69,370	24,397
100% N, P, K e Mg	0,190	2,350	8,875	35,125	68,500	23,008
<b>Média das colheitas</b>	<b>0,928</b>	<b>8,625</b>	<b>75,769</b>	<b>138,244</b>	<b>277,219</b>	<b>100,157</b>

Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de KNO<sub>3</sub>.



**Figura 8.** Massa seca total de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de N, P, K e Mg, em mg L<sup>-1</sup>, nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. Valores ajustados pela equação polinomial quadrática. Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de KNO<sub>3</sub>.

T1 (50% N, P, K e 25% Mg) - 94,0/15,5/107,5/12,15 de N/P/K/Mg, mg L<sup>-1</sup>

T2 (50% N, P, K e Mg) - 94,0/15,5/107,5/24,3 de N/P/K/Mg, mg L<sup>-1</sup>

T3 (65% N, 50% P, 25% K, 100% Mg) - 124,0/15,5/53,6/48,6 de N/P/K/Mg, mg L<sup>-1</sup>

T4 (100% N, P, K e Mg) - 189,0/31,0/214,5/48,6 de N/P/K/Mg, mg L<sup>-1</sup>

## 6.7. Razão de massa foliar

A variação da razão de massa foliar de *Mentha piperita* L., submetida aos diferentes níveis de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio nas várias colheitas, pode ser observada na Figura 9.

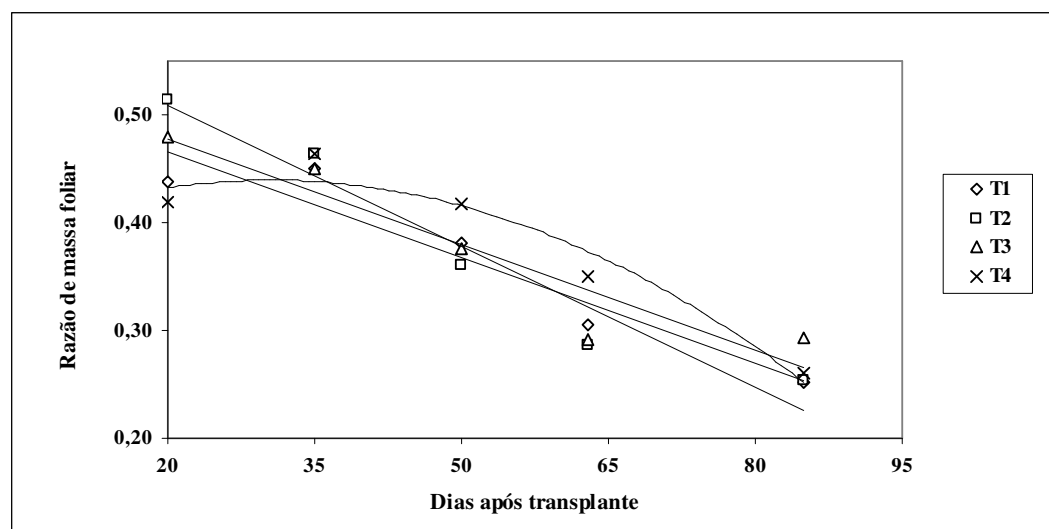
De maneira geral, todos os tratamentos apresentaram redução da razão da massa foliar durante o ciclo de desenvolvimento da cultura (Figura 9), comportamento esperado uma vez que à medida que a planta se desenvolve menor é a fração de fotoassimilados retidos na folha, sendo direcionados para os demais órgãos para garantir seu crescimento, conseqüentemente havendo decréscimo dessa razão (RADFORD, 1967; BENINCASA, 2003). Lugg & Sinclair (1980) demonstraram que a razão de massa foliar decresce nas fases de aumento da área foliar, ou seja, já na fase de desenvolvimento vegetativo. Assim, os resultados obtidos para a esse índice no presente estudo, concordam com os relatados na literatura. Deve-se, no entanto, destacar o comportamento da razão de massa foliar apresentado pelas plantas cultivadas em solução completa cuja diminuição apresentou-se mais lenta, indicando retenção de matéria orgânica nas folhas por mais tempo. Essa solução mostrou-se, portanto, excessiva para plantas de *Mentha piperita* L., interferindo com a fase inicial do processo de translocação orgânica.

A comparação de médias, que pode ser observada na Tabela 8, revela que aos 20 DAT, as plantas nutridas com 50% de N, P, K e Mg apresentaram maior RMF em relação às nutridas com 100% de N, P, K e Mg, com inversão desse comportamento aos 65 DAT, confirmando as observações já registradas, ou seja, do início ao fim do desenvolvimento as plantas cultivadas com 50% de N, P, K e Mg apresentaram maior exportação de compostos orgânicos para os demais órgãos.

**Tabela 8.** Análise de variância e comparação entre médias de razão de massa foliar, de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005.

Análise de variância (Teste F)						
Níveis de N, P, K e Mg	Colheita	Interação Colheita x Níveis de N, P, K e Mg				
0,60	74,55*	2,06*				
* significância ao nível de 5%						
Comparação entre médias (Teste Tukey)						
Níveis N/ P/ K/ Mg em relação à solução completa	Colheita (Dias após transplante)					Média níveis de N/P/K/Mg
	1 <sup>a</sup> (20)	2 <sup>a</sup> (35)	3 <sup>a</sup> (50)	4 <sup>a</sup> (65)	5 <sup>a</sup> (85)	
50% N, P, K e 25% Mg	0,438ab	0,449a	0,382a	0,306ab	0,252a	0,365
50% N, P, K e Mg	0,515a	0,465a	0,361a	0,287b	0,254a	0,376
65 % N, 50% P, 25% K, 100% Mg	0,479ab	0,449a	0,376a	0,292b	0,293a	0,378
100% N, P, K e Mg	0,418 b	0,464a	0,418a	0,349a	0,260a	0,382
<b>Média das colheitas</b>	<b>0,463</b>	<b>0,457</b>	<b>0,384</b>	<b>0,309</b>	<b>0,265</b>	<b>0,375</b>

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade. Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de  $\text{KNO}_3$ .



**Figura 9.** Razão de massa foliar de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de N, P, K e Mg em  $\text{mg L}^{-1}$ , nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. Valores ajustados pela equação linear (T1, T2 e T3) e polinomial quadrática (T4). Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de  $\text{KNO}_3$ .

T1 (50% N, P, K e 25% Mg) -  $94,0/15,5/107,5/12,15$  de N/P/K/Mg,  $\text{mg L}^{-1}$

T2 (50% N, P, K e Mg) -  $94,0/15,5/107,5/24,3$  de N/P/K/Mg,  $\text{mg L}^{-1}$

T3 (65 % N, 50% P, 25% K, 100% Mg) -  $124,0/15,5/53,6/48,6$  de N/P/K/Mg,  $\text{mg L}^{-1}$

T4 (100% N, P, K e Mg) -  $189,0/31,0/214,5/48,6$  de N/P/K/Mg,  $\text{mg L}^{-1}$

## 6.8. Distribuição de massa seca para raízes

As tendências de variação da distribuição de massa seca para raízes de *Mentha piperita* L., submetida aos diferentes níveis de nitrogênio, fósforo, potássio e Mg nas várias colheitas, podem ser observadas na Figura 10.

De modo geral, as plantas cultivadas com 50% de N, P, K e 25% de Mg e 50% de N, P, K e Mg apresentaram tendência de decréscimo da distribuição da massa seca para raízes ao longo do ciclo, exceção feita aos 65 e 85 DAT. Os demais tratamentos apresentaram tendência de aumento da distribuição de massa seca para raízes aos 35 DAT (Tabela 9). Como essa variável permite inferir a translocação orgânica, pode-se concluir que nas plantas nutridas com 65% de N, 50% de P, 25% de K e 100% de Mg e com 100% de N, P, K e Mg houve maior demanda de fotoassimilados para crescimento de raízes aos 35 DAT que pode ser confirmado pela tendência de maior massa seca desses órgãos nesse período (Tabela 4).

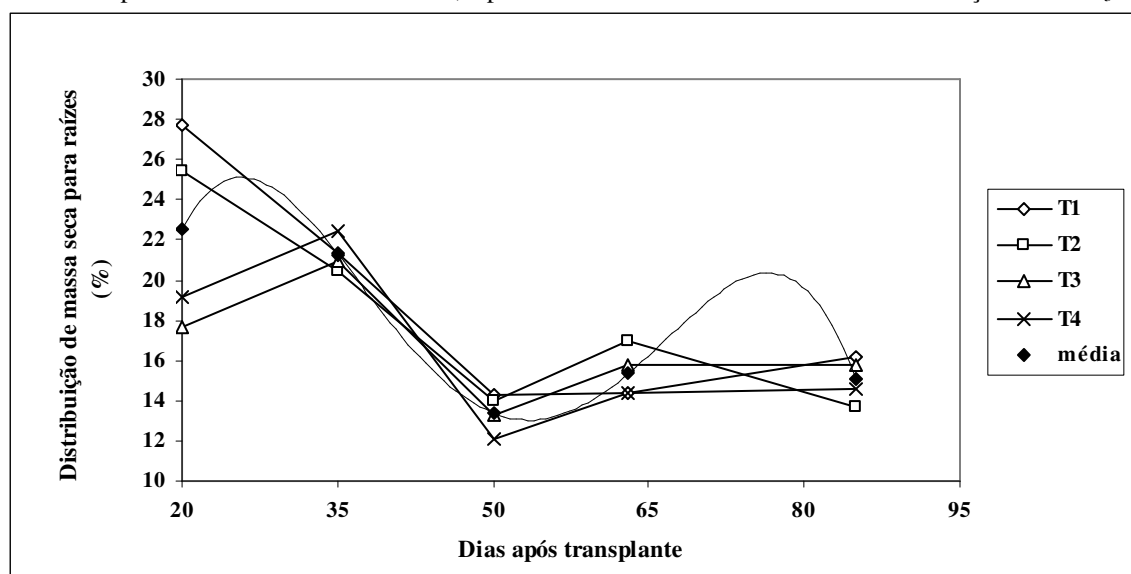
No início do ciclo de desenvolvimento as plantas investem em produção de raízes para poder assimilar nutrientes, que são levados até as folhas onde a síntese de fotoassimilados ocorre e que são translocados para as regiões de crescimento, consumo e armazenamento.

David (2007) ao avaliar *Mentha piperita* L. cultivada com solução nutritiva acrescida e decrescida de 50% de fósforo obteve, de modo geral, tendência de decréscimo da distribuição da massa seca de raízes ao longo do ciclo, exceção feita ao tratamento com solução nutritiva completa, aos 80 dias após o transplante, época em que se verificou acentuada tendência de aumento da massa seca para as raízes. Esses resultados indicam uma vez mais a possibilidade de interferência dos nutrientes no processo de translocação orgânica.

**Tabela 9.** Análise de variância e comparação entre médias de distribuição de massa seca para raízes, em %, de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005.

Análise de variância (Teste F)						
Níveis de N, P, K e Mg	Colheita	Interação Colheita x Níveis de N, P, K e Mg				
1,89	20,93 *	1,72				
* significância ao nível de 5%						
Comparação entre médias (Teste Tukey)						
Níveis N/ P/ K/ Mg em relação à solução completa	Colheita (Dias após transplante)					Média níveis de N/P/K/Mg
	1 <sup>a</sup> (20)	2 <sup>a</sup> (35)	3 <sup>a</sup> (50)	4 <sup>a</sup> (65)	5 <sup>a</sup> (85)	
<b>50% N, P, K e 25% Mg</b>	27,743	21,323	14,238	14,329	16,181	<b>18,763</b>
<b>50% N, P, K e Mg</b>	25,463	20,482	13,947	16,984	13,723	<b>18,121</b>
<b>65% N, 50% P, 25% K, 100% Mg</b>	17,695	20,932	13,274	15,747	15,764	<b>16,683</b>
<b>100% N, P, K e Mg</b>	19,129	22,407	12,105	14,341	14,584	<b>16,514</b>
<b>Média das colheitas</b>	<b>22,508</b>	<b>21,286</b>	<b>13,391</b>	<b>15,351</b>	<b>15,063</b>	<b>17,520</b>

Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de KNO<sub>3</sub>.



**Figura 10.** Distribuição de massa seca para raízes de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de N, P, K e Mg em mg L<sup>-1</sup>, nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. Valores médios ajustados pela equação polinomial de quarto grau. Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de KNO<sub>3</sub>.

T1 (50% N, P, K e 25% Mg) - 94,0/15,5/107,5/12,15 de N/P/K/Mg, mg L<sup>-1</sup>

T2 (50% N, P, K e Mg) - 94,0/15,5/107,5/24,3 de N/P/K/Mg, mg L<sup>-1</sup>

T3 (65% N, 50% P, 25% K, 100% Mg) - 124,0/15,5/53,6/48,6 de N/P/K/Mg, mg L<sup>-1</sup>

T4 (100% N, P, K e Mg) - 189,0/31,0/214,5/48,6 de N/P/K/Mg, mg L<sup>-1</sup>

## 6.9. Distribuição de massa seca para caule e pecíolos

A variação da distribuição de massa seca para caule e pecíolos de *Mentha piperita* L., submetida aos diferentes níveis de nitrogênio, fósforo, potássio e Mg nas várias colheitas, pode ser observada na Figura 11.

De modo geral todos os tratamentos apresentaram aumento da distribuição de massa seca para caule mais pecíolos, mostrando que esses órgãos cresceram durante o período de avaliação, exceção feita às plantas nutridas com 100% de N, P, K e Mg, que apresentaram redução aos 35 DAT e retornaram a crescer nas colheitas seguintes. Tal comportamento pode ser justificado devido ao aumento de distribuição de massa seca para raízes nesse período, onde as plantas deixaram de investir em caule mais pecíolos para investir em raízes (Tabela 9).

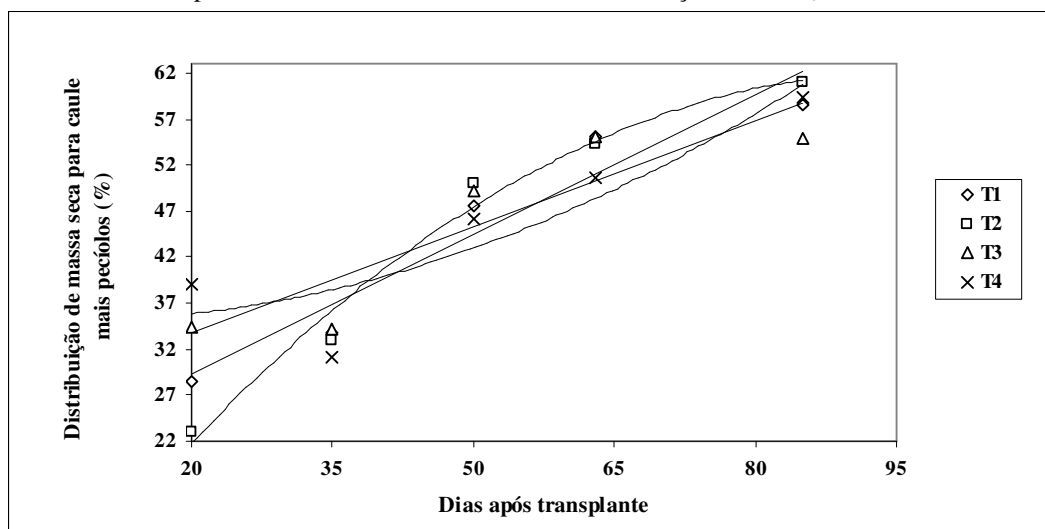
Aos 20 DAT as plantas nutridas com 50% de N, P, K e Mg apresentaram distribuição de massa seca para caule e pecíolos menor que as plantas nutridas com 100% de N, P, K e Mg, indicando que essas plantas apresentaram menor crescimento desses órgãos no início do ciclo de desenvolvimento (Tabela 10).

David (2007) obteve, de modo geral, tendência de acréscimo da distribuição da massa seca para caule e pecíolos em plantas de *Mentha piperita* L. na maior parte de seu ciclo, nas plantas nutridas com solução completa. Os resultados de David (2007) sugeriram que quanto maior a concentração de nutrientes, maior o estímulo para crescimento de caule e pecíolos. No entanto, no estudo de David (2007) não foram avaliadas as variações de relações entre nutrientes na solução nutritiva, como no presente estudo, em que resultados diferentes indicam que tais relações também interferem com o desenvolvimento vegetal.

**Tabela 10.** Análise de variância e comparação entre médias de distribuição de massa seca para caule mais pecíolos, em %, de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005.

Análise de variância (Teste F)						
Níveis de N, P, K e Mg	Colheita	Interação Colheita x Níveis de N, P, K e Mg				
0,19	75,30*	1,94*				
* significância em nível de 5%						
Comparação entre médias (Teste Tukey)						
Níveis N/ P/ K/ Mg em relação à solução completa	Colheita (Dias após transplante)					Média níveis de N/P/K/Mg
	1 <sup>a</sup> (20)	2 <sup>a</sup> (35)	3 <sup>a</sup> (50)	4 <sup>a</sup> (65)	5 <sup>a</sup> (85)	
50% N, P, K e 25% Mg	28,491ab	33,701a	47,573 a	55,085a	58,625a	44,695
50% N, P, K e Mg	23,077b	33,057a	49,992a	54,343a	60,971a	44,288
65 % N, 50% P, 25% K, 100% Mg	34,322 a	34,111a	49,159a	55,071a	54,937a	45,521
100% N, P, K e Mg	38,998 a	31,165a	46,147a	50,671a	59,405a	45,277
<b>Média das colheitas</b>	<b>31,222</b>	<b>33,010</b>	<b>48,217</b>	<b>53,793</b>	<b>58,485</b>	<b>44,945</b>

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade. Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de  $KNO_3$ .



**Figura 11.** Distribuição de massa seca para caule e pecíolos de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de N, P, K e Mg em  $mg L^{-1}$ , nas várias colheitas realizadas entre abril e julho de 2005. Valores ajustados pela equação linear (T1, T3), polinomial quadrática (T2 e T4). Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de  $KNO_3$ .  
 T1 (50% N, P, K e 25% Mg) -  $94,0/15,5/107,5/12,15$  de N/P/K/Mg,  $mg L^{-1}$   
 T2 (50% N, P, K e Mg) -  $94,0/15,5/107,5/24,3$  de N/P/K/Mg,  $mg L^{-1}$   
 T3 (65 % N, 50% P, 25% K, 100% Mg) -  $124,0/15,5/53,6/48,6$  de N/P/K/Mg,  $mg L^{-1}$   
 T4 (100% N, P, K e Mg) -  $189,0/31,0/214,5/48,6$  de N/P/K/Mg,  $mg L^{-1}$

## 6.10. Distribuição de massa seca para lâminas foliares

A variação da distribuição de massa seca para lâminas foliares de *Mentha piperita* L., submetida aos diferentes níveis de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio nas várias colheitas, pode ser observada na Figura 12.

De maneira geral, as plantas apresentaram durante o ciclo, diminuição de distribuição de matéria seca para lâminas foliares. Apesar das plantas cultivadas com 100% de N, P, K e Mg também apresentarem tal diminuição, essa foi mais lenta em relação aos outros tratamentos, indicando maior investimento dessas plantas em fotoassimilados para o desenvolvimento de lâminas foliares. Aos 35 DAT observa-se discreto aumento na distribuição de massa seca para lâminas foliares nas plantas nutridas com 100% de N, P, K e Mg, confirmando maior investimento dessas plantas em raízes e em lâminas foliares do que em caule mais pecíolos, nessa época.

David (2007) ao avaliar *Mentha piperita* L. cultivada com solução nutritiva acrescida e decrescida de 50% de fósforo obteve, de modo geral, tendência de decréscimo da distribuição da massa seca para lâminas foliares ao longo do ciclo, exceção feita às plantas cultivadas em solução completa, aos 80 dias após o transplante, com acentuada tendência de aumento da massa seca para as lâminas foliares. Esses resultados demonstraram para *Mentha piperita* L. estímulo de crescimento de folhas quando os nutrientes são elevados.

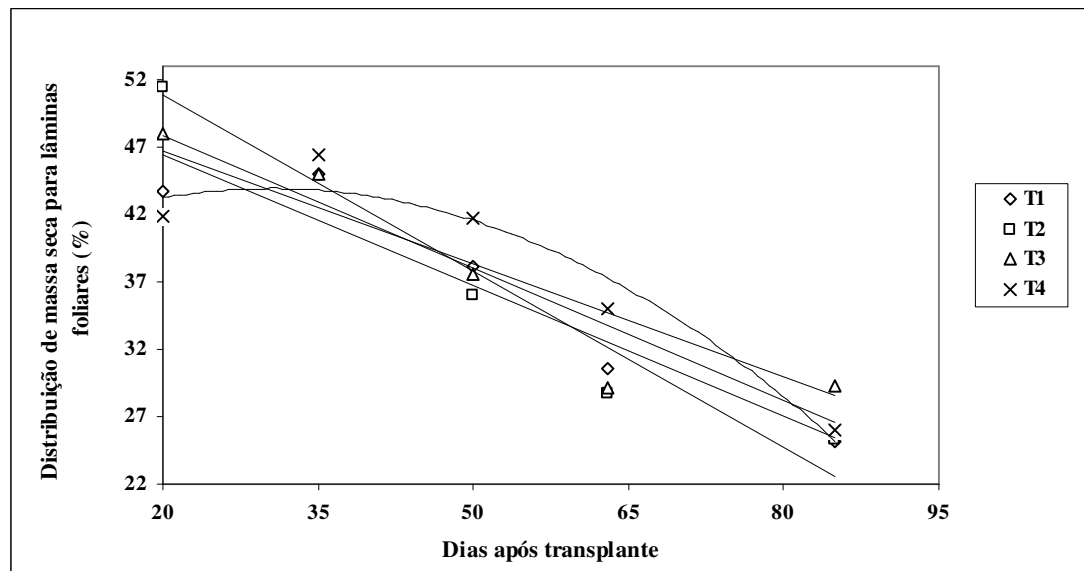
As plantas nutridas com 50% de N, P, K e Mg apresentaram maior distribuição de massa seca para lâminas foliares em relação às nutridas com 100% de N, P, K e Mg aos 20 DAT, com inversão desse comportamento aos 65 DAT (Tabela 11).



**Tabela 11.** Análise de variância e comparação entre médias de distribuição de massa seca para lâminas foliares, em %, de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005.

Análise de variância (Teste F)						
Níveis de N, P, K e Mg	Colheita	Interação Colheita x Níveis de N, P, K e Mg				
0,60	74,55*	2,06*				
* significância ao nível de 5%						
Comparação entre médias (Teste Tukey)						
Níveis N/ P/ K/ Mg em relação à solução completa	Colheita (Dias após transplante)					Média níveis de N/P/K/Mg
	1 <sup>a</sup> (20)	2 <sup>a</sup> (35)	3 <sup>a</sup> (50)	4 <sup>a</sup> (65)	5 <sup>a</sup> (85)	
50% N, P, K e 25% Mg	43,766ab	44,975a	38,198a	30,586ab	25,192a	36,542
50% N, P, K e Mg	51,454a	46,461a	36,061a	28,672b	25,306a	37,591
65% N, 50% P, 25% K, 100% Mg	47,982ab	44,953a	37,567a	29,182b	29,299a	37,796
100% N, P, K e Mg	41,873b	46,427a	41,748a	34,988a	26,011a	38,209
<b>Média das colheitas</b>	<b>46,269</b>	<b>45,704</b>	<b>38,391</b>	<b>30,857</b>	<b>26,452</b>	<b>37,535</b>

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade. Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de  $KNO_3$ .



**Figura 12.** Distribuição de massa seca para lâminas foliares de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de N, P, K e Mg em  $mg L^{-1}$ , nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. Valores ajustados pela equação linear (T1, T2 e T3) e quadrática (T4). Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de  $KNO_3$ .

T1 (50% N, P, K e 25% Mg) -  $94,0/15,5/107,5/12,15$  de N/P/K/Mg,  $mg L^{-1}$

T2 (50% N, P, K e Mg) -  $94,0/15,5/107,5/24,3$  de N/P/K/Mg,  $mg L^{-1}$

T3 (65% N, 50% P, 25% K, 100% Mg) -  $124,0/15,5/53,6/48,6$  de N/P/K/Mg,  $mg L^{-1}$

T4 (100% N, P, K e Mg) -  $189,0/31,0/214,5/48,6$  de N/P/K/Mg,  $mg L^{-1}$

### 6.11. Taxa assimilatória líquida

A variação da taxa assimilatória líquida de *Mentha piperita* L., submetida aos diferentes níveis de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio nas várias colheitas, pode ser observada na Figura 13.

De modo geral, a TAL diminuiu durante o ciclo de desenvolvimento da espécie em todos os tratamentos (Figura 13 e Tabela 12). Esses resultados concordam com os observados por (Valmorbida (2003), Leal (2001), Milthorpe e Moorby (1974) e Watson (1965)). Milthorpe e Moorby (1974) referem que a diminuição da taxa assimilatória líquida com a idade das plantas se deve ao sombreamento de folhas inferiores.

Segundo Watson (1952) esse índice expressa o balanço entre a fotossíntese e a respiração, sendo, portanto, mais influenciado pelas condições climáticas, do que pelo potencial genético do vegetal. O autor ainda refere que, área foliar específica e taxa assimilatória líquida são inversamente proporcionais, pois à medida que a área foliar específica aumenta, ocorre redução na taxa assimilatória líquida, devido ao efeito do auto-sombreamento.

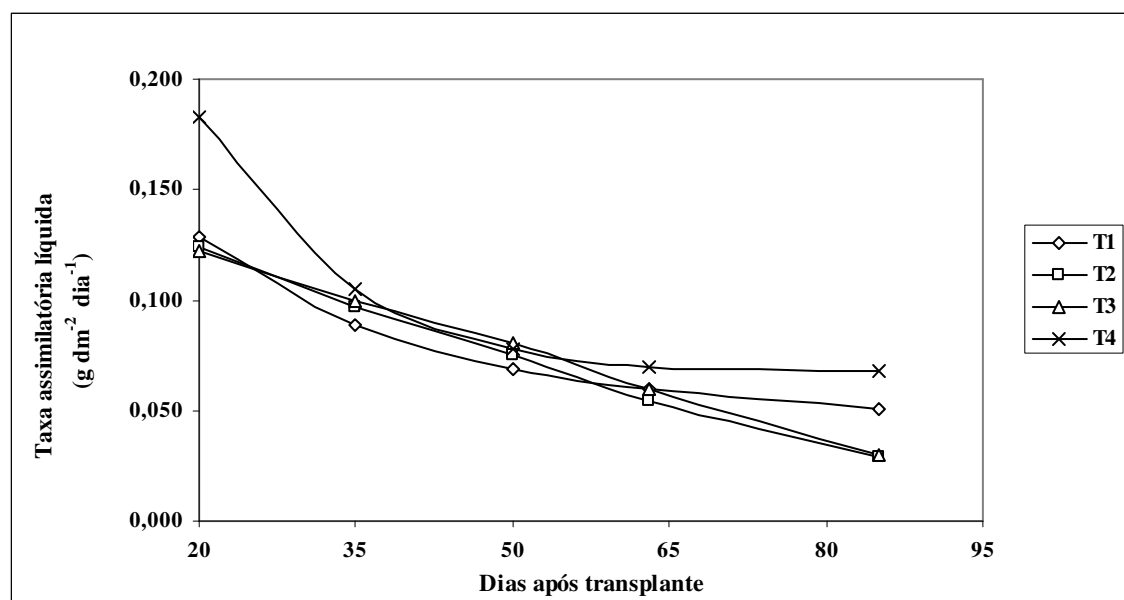
No presente estudo, as plantas cultivadas com 100% de N, P, K e Mg, apresentaram TAL com declínio mais rápido dos 20 aos 35 DAT em relação aos outros tratamentos. No entanto, as plantas que apresentaram declínio mais acentuado durante todo o ciclo de desenvolvimento foram nutridas com 50% de N, P, K e Mg (Figura 13). Esse comportamento indica maior eficiência fotossintética e esse índice expressa a taxa de fotossíntese líquida, em termos de massa seca produzida (PORTES e CASTRO JUNIOR, 1991).

Os resultados observados no presente estudo são concordantes com os registros de Boaro (2001) sobre observações de Watson (1952) e de Xavier (1986). Watson (1952) referiu existência de evidências da influência de níveis elevados de nutrientes sobre a TAL, sugerindo sua diminuição, quando baixas concentrações de nutrientes são utilizadas. O autor ainda refere ser pouco provável o incremento da produção pelo aumento da TAL. Xavier (1986) ao realizar análise de crescimento de quatro cultivares de feijão, verificou que, em geral, a taxa assimilatória líquida era maior antes dos 20 dias após a emergência, a partir dos quais declinava com a idade da planta.

**Tabela 12.** Taxa assimilatória líquida ( $\text{g dm}^{-2}\text{dia}^{-1}$ ) de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005.

Níveis N/ P/ K/ Mg em relação à solução completa	Colheita (Dias após transplante)				
	1ª(20)	2ª(35)	3ª(50)	4ª(65)	5ª(85)
50% N, P, K e 25% Mg	0,12822	0,08829	0,06914	0,05967	0,05071
50% N, P, K e Mg	0,12433	0,09684	0,07484	0,05461	0,02897
65% N, 50% P, 25% K, 100% Mg	0,12232	0,09951	0,08037	0,06016	0,02999
100% N, P, K e Mg	0,18238	0,10522	0,07756	0,06998	0,06766

Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de  $\text{KNO}_3$ .



**Figura 13.** Taxa assimilatória líquida de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de N, P, K e Mg em  $\text{mg L}^{-1}$ , nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. Valores ajustados pela equação exponencial quadrática. Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de  $\text{KNO}_3$ .

T1 (50% N, P, K e 25% Mg) -  $94,0/15,5/107,5/12,15$  de N/P/K/Mg,  $\text{mg L}^{-1}$

T2 (50% N, P, K e Mg) -  $94,0/15,5/107,5/24,3$  de N/P/K/Mg,  $\text{mg L}^{-1}$

T3 (65% N, 50% P, 25% K, 100% Mg) -  $124,0/15,5/53,6/48,6$  de N/P/K/Mg,  $\text{mg L}^{-1}$

T4 (100% N, P, K e Mg) -  $189,0/31,0/214,5/48,6$  de N/P/K/Mg,  $\text{mg L}^{-1}$

## 6.12. Taxa de crescimento relativo

A variação da taxa de crescimento relativo de *Mentha piperita* L., submetida aos diferentes níveis de nitrogênio, fósforo, potássio e Mg nas várias colheitas, pode ser observada na Figura 14.

Pode-se observar que a TCR diminuiu em todos os tratamentos ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura (Figura 14 e Tabela 13). Benincasa (2003) registrou que nem sempre se verificam diferenças tão evidentes entre tratamentos e, em alguns casos, não se consegue mesmo detectar causas de diferenças de produção pela análise de crescimento, o que parece ter ocorrido com a TCR no presente estudo, em especial com as plantas cultivadas com 50% N, P, K e Mg e 65 % N, 50% P, 25% K, 100% Mg, que com suas curvas em declínio mais rápido indicam crescimento mais rápido, ou seja, apresentam as taxas mais elevadas, no início e mais baixas, no final.

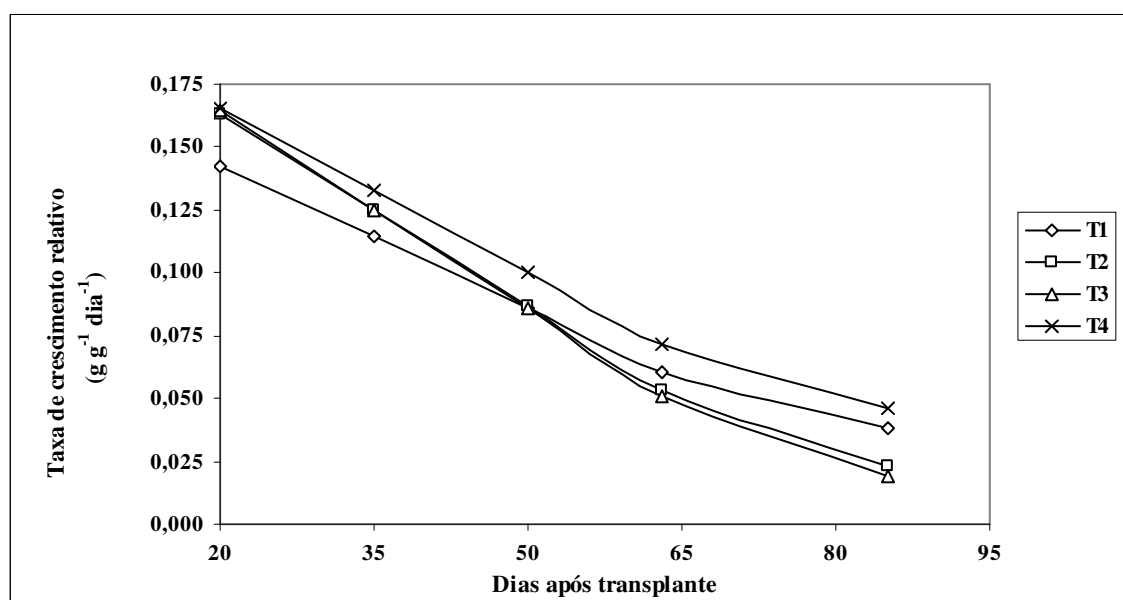
Em todos os tratamentos, de acordo com as observações registradas por Boaro (2001), verifica-se que a taxa de crescimento relativo apresentou efeito maior da taxa assimilatória líquida, mostrando comportamento muito mais semelhante a ela, do que a razão de área foliar, os dois índices que compõem a TCR. Esses resultados estão de acordo com os de Magalhães e Montojos, verificados em 1971, para cultivares de feijão em que a taxa assimilatória líquida e a taxa de crescimento relativo apresentaram correlação positiva. Deve ser ressaltado que, embora as comparações envolvam espécies diferentes, o comportamento dos índices fisiológicos apresenta-se igual e reflete a produtividade vegetal.

Segundo Milthorpe e Moorby (1974), durante a ontogenia de uma cultura, há um primeiro período com taxas de crescimento aceleradas, seguido de outro em que as taxas são mais ou menos constantes e de um terceiro, com declínio desse índice. Neste último período, o crescimento pode se tornar negativo.

**Tabela 13.** Taxa de crescimento relativo ( $\text{g g}^{-1} \text{dia}^{-1}$ ) de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005.

Níveis N/ P/ K/ Mg em relação à solução completa	Colheita (Dias após transplante)				
	1 <sup>a</sup> (20)	2 <sup>a</sup> (35)	3 <sup>a</sup> (50)	4 <sup>a</sup> (65)	5 <sup>a</sup> (85)
50% N, P, K e 25% Mg	0,14271	0,11415	0,08559	0,06084	0,03799
50% N, P, K e Mg	0,16288	0,12469	0,08650	0,05340	0,02284
65 % N, 50% P, 25% K, 100% Mg	0,16491	0,12523	0,08555	0,05115	0,01940
100% N, P, K e Mg	0,16506	0,13257	0,10008	0,07193	0,04594

Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de  $\text{KNO}_3$ .



**Figura 14.** Taxa de crescimento relativo de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de N, P, K e Mg em  $\text{mg L}^{-1}$ , nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. Valores ajustados pela equação exponencial quadrática. Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de  $\text{KNO}_3$ .

T1 (50% N, P, K e 25% Mg) -  $94,0/15,5/107,5/12,15$  de N/P/K/Mg,  $\text{mg L}^{-1}$

T2 (50% N, P, K e Mg) -  $94,0/15,5/107,5/24,3$  de N/P/K/Mg,  $\text{mg L}^{-1}$

T3 (65 % N, 50% P, 25% K, 100% Mg) -  $124,0/15,5/53,6/48,6$  de N/P/K/Mg,  $\text{mg L}^{-1}$

T4 (100% N, P, K e Mg) -  $189,0/31,0/214,5/48,6$  de N/P/K/Mg,  $\text{mg L}^{-1}$

### 6.13. Razão de área foliar

A variação da razão de área foliar de *Mentha piperita* L., submetida aos diferentes níveis de nitrogênio, fósforo, potássio e Mg nas várias colheitas, pode ser observada na Figura 15.

De maneira geral, as plantas apresentaram redução da RAF, ao longo do ciclo de desenvolvimento, com exceção das nutridas com 50% de N, P, K e 25% de Mg, que apresentaram aumento da RAF aos 35 DAT e das nutridas com solução completa de N/P/K/Mg, que apresentaram aumento dos 20 aos 50 DAT, diminuindo a seguir (Tabela 14). Tal comportamento pode ter ocorrido devido ao maior investimento na produção de folhas para a captação de luz no início do desenvolvimento das plantas submetidas a esses tratamentos. Nota-se ainda nas plantas nutridas com 50% de N, P, K e 25% de Mg tendência de maior distribuição de massa seca para raízes indicando que investiram por mais tempo no desenvolvimento desse órgão, o que poderia ter facilitado a absorção de nutriente, porém quando observa-se as Tabela 33 e 34, verifica-se que não ocorreram grandes diferenças na absorção de nutrientes.

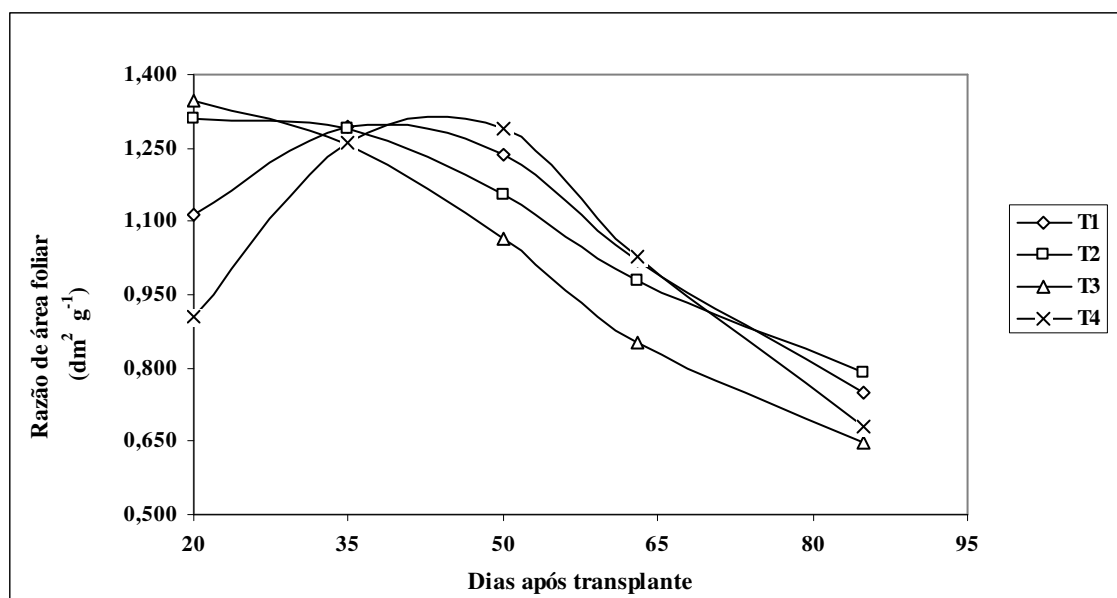
Esses resultados são concordantes com os registrados na literatura para a RAF, que expressa a área foliar útil para a fotossíntese e seu comportamento é de ser elevada no início do ciclo, período em que ocorre desenvolvimento de folhas para maior captação de luz, decrescendo devido à interferência de folhas superiores sobre as inferiores, caracterizando auto-sombreamento (Benincasa, 2003), diminuindo assim a área foliar útil para a realização da fotossíntese.

Os resultados do presente estudo estão de acordo com os encontrados por Boaro (2001), Leal (2001), Valmorbida (2003) e David (2007), que independente de cultivarem espécies diferentes em solução nutritiva com variação de diferentes nutrientes observaram RAF elevada no início do ciclo vegetativo, período em que ocorre desenvolvimento de folhas para maior captação de luz, decrescendo devido à interferência de folhas superiores sobre as inferiores.

**Tabela 14.** Razão de área foliar ( $\text{dm}^2 \text{g}^{-1}$ ) de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005.

Níveis N/ P/ K/ Mg em relação à solução completa	Colheita (Dias após transplante)				
	1 <sup>a</sup> (20)	2 <sup>a</sup> (35)	3 <sup>a</sup> (50)	4 <sup>a</sup> (65)	5 <sup>a</sup> (85)
50% N, P, K e 25% Mg	1,11301	1,29292	1,23791	1,01956	0,749286
50% N, P, K e Mg	1,30999	1,28758	1,15566	0,977766	0,78872
65 % N, 50% P, 25% K, 100% Mg	1,34822	1,25839	1,06442	0,850191	0,647029
100% N, P, K e Mg	0,905009	1,25986	1,29041	1,02789	0,679073

Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de  $\text{KNO}_3$ .



**Figura 15.** Razão de área foliar de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de N, P, K e Mg em  $\text{mg L}^{-1}$ , nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. Valores ajustados pela equação exponencial quadrática. Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de  $\text{KNO}_3$ .

T1 (50% N, P, K e 25% Mg) -  $94,0/15,5/107,5/12,15$  de N/P/K/Mg,  $\text{mg L}^{-1}$

T2 (50% N, P, K e Mg) -  $94,0/15,5/107,5/24,3$  de N/P/K/Mg,  $\text{mg L}^{-1}$

T3 (65 % N, 50% P, 25% K, 100% Mg) -  $124,0/15,5/53,6/48,6$  de N/P/K/Mg,  $\text{mg L}^{-1}$

T4 (100% N, P, K e Mg) -  $189,0/31,0/214,5/48,6$  de N/P/K/Mg,  $\text{mg L}^{-1}$

#### 6.14. Área foliar específica

A variação da área foliar específica de *Mentha piperita* L. submetida aos diferentes níveis de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio nas várias colheitas, pode ser observada na Figura 16.

A área foliar específica aumentou, de maneira geral, durante todo o ciclo nas plantas cultivadas com 50% N, P, K e 25% Mg e 50% N, P, K e Mg. Nas demais ocorreu aumento desse índice até a metade do período de avaliação, diminuindo a seguir.

Segundo Benincasa (2003) no início do desenvolvimento, os valores da AFE podem ser maiores, revelando folhas pouco espessa, com pouca massa 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. Tal queda, portanto, no presente estudo ocorreu mais tarde nos tratamentos com 50% N, P, K e 25% Mg e 50% N, P, K e Mg.

Os resultados do presente estudo concordam em parte com os observados por Valmorbidia (2003) que obteve aumento da AFE até os 63 DAT, quando cultivou *Mentha piperita* L. com 100% e 50% de K. Leal (2001) estudou *Mentha piperita* L. cultivada em diferentes níveis de nitrogênio e observou aumento da AFE nas plantas nutridas com os menores níveis de N, 210/105 e 263/132 mg L<sup>-1</sup> de N e diminuição naquelas com o maior nível, 315/158 mg L<sup>-1</sup> até os 84 dias, que aumentou a seguir, demonstrando que doses de nitrogênio elevadas diminuem a AFE, ou seja, resulta em maior espessura de folhas. No entanto, quando novas folhas se desenvolvem, a AFE volta a aumentar, o que expressa a menor espessura verificada no estudo de Leal (2001). Tal comportamento pode ser esperado em plantas em que o nitrogênio estimula o crescimento vegetativo. Esses resultados discordam dos encontrados por David (2007) que observou que de maneira geral a AFE de *Mentha piperita* L. cultivada com diferentes níveis de P, diminuiu dos 20 aos 40 DAT, voltando a aumentar a seguir, sendo mais elevada aos 100 DAT.

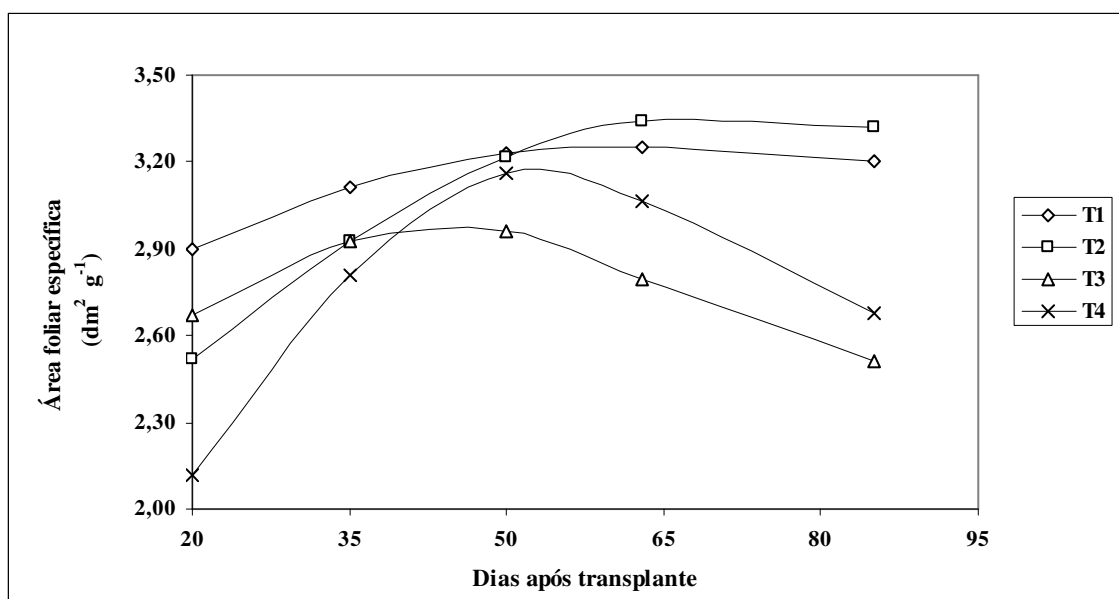
No entanto, os estudos citados acima avaliaram N, P e K separadamente, o que não aconteceu no presente estudo, onde todos os elementos foram avaliados em conjunto e a interação entre eles pode explicar algumas divergências de comportamento que as plantas apresentaram.



**Tabela 15.** Área foliar específica ( $\text{dm}^2 \text{g}^{-1}$ ) de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005.

Níveis N/ P/ K/ Mg em relação à solução completa	Colheita (Dias após transplante)				
	1 <sup>a</sup> (20)	2 <sup>a</sup> (35)	3 <sup>a</sup> (50)	4 <sup>a</sup> (65)	5 <sup>a</sup> (85)
50% N, P, K e 25% Mg	2,90141	3,11335	3,23312	3,25331	3,20140
50% N, P, K e Mg	2,51833	2,92949	3,21987	3,33801	3,32285
65 % N, 50% P, 25% K, 100% Mg	2,66709	2,92718	2,95866	2,79377	2,50820
100% N, P, K e Mg	2,11721	2,80701	3,15942	3,06618	2,67411

Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de  $\text{KNO}_3$ .



**Figura 16.** Área foliar específica de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de N, P, K e Mg em  $\text{mg L}^{-1}$ , nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. Valores ajustados pela equação exponencial quadrática. Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de  $\text{KNO}_3$ .

T1 (50% N, P, K e 25% Mg) -  $94,0/15,5/107,5/12,15$  de N/P/K/Mg,  $\text{mg L}^{-1}$

T2 (50% N, P, K e Mg) -  $94,0/15,5/107,5/24,3$  de N/P/K/Mg,  $\text{mg L}^{-1}$

T3 (65 % N, 50% P, 25% K, 100% Mg) -  $124,0/15,5/53,6/48,6$  de N/P/K/Mg,  $\text{mg L}^{-1}$

T4 (100% N, P, K e Mg) -  $189,0/31,0/214,5/48,6$  de N/P/K/Mg,  $\text{mg L}^{-1}$

### 6.15. Assimilação de CO<sub>2</sub> (A)

As tendências de variação da assimilação de CO<sub>2</sub> de *Mentha piperita* L., submetida aos diferentes níveis de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio nas várias colheitas, podem ser observadas nas Figuras 17 e 18.

O padrão de trocas gasosas no decorrer do dia ou do ano depende das condições internas e externas da planta, que dependem do clima. Sempre que um fator se apresenta em nível mínimo pode se tornar limitante para a absorção do CO<sub>2</sub> por certo tempo. Na natureza, raras vezes os fatores externos, por curto espaço de tempo, se harmonizam de forma a favorecerem a ocorrência de picos de fotossíntese (LARCHER, 2006).

A assimilação de CO<sub>2</sub> no presente estudo, confirmando os muitos registros encontrados na literatura, de maneira geral, foi maior entre 9:00 e 10:30 h, quando comparada a avaliação realizada à tarde (Figuras 17 e 18). Ao longo do desenvolvimento e, em especial, após os 58 DAT observa-se bem essa tendência de maior taxa de assimilação pela manhã.

Apesar da diminuição dos níveis de Mg nas plantas nutridas com 50% de N, P, K e 25% de Mg e com 50% de N, P, K e Mg elas apresentaram tendência de maior assimilação de CO<sub>2</sub> ao longo do ciclo, sugerindo que apesar da diminuição de Mg na solução nutritiva, a quantidade fornecida às plantas foi suficiente para a realização de suas atividades metabólicas. Esses resultados estão de acordo com os de Rosolem (2005), que refere que na maioria das vezes, mesmo havendo redução dos teores de Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>+</sup> no tecido foliar da planta, esses níveis podem ainda ser classificados na faixa de suficiência, não causando, portanto, danos ao crescimento ou à produção.

Por outro lado, apesar da possibilidade do Mg ser substituído por outros nutrientes, ele é essencial para a molécula de clorofila e para a fixação de CO<sub>2</sub>, que pode ser inibida mesmo quando a clorofila é suficiente, sendo exigido em reações de fosforilação que limitam a regeneração da ribulose difosfato no ciclo de Calvin (MALAVOLTA, 1980). No presente estudo, mesmo o menor nível de Mg avaliado garantiu todas as funções do mineral.

As plantas nutridas com 50% de N, P, K e 25% de Mg e com 50% de N, P e K e de 75% de Mg, apresentaram maior assimilação de CO<sub>2</sub> em relação às plantas

cultivadas com 100% de N, P, K e Mg, aos 35 DAT. Nesse caso, o nível de N fornecido as plantas cultivadas com 100% de N, P, K e Mg poderia ter sido excessivo, ocasionado diminuição de assimilação de CO<sub>2</sub>. Durante o processo de assimilação do nitrato, a enzima nitrato redutase requer NADH (nicotinamida adenina dinucleotídeo) como doador de elétrons, reduzindo o nitrato em nitrito no citoplasma. O nitrito, por sua vez, é um íon altamente reativo e potencialmente tóxico, sendo transportado rapidamente para o interior do cloroplasto, onde é reduzido a amônio pela enzima nitrito redutase. Para que ocorra esta reação é necessária presença de ferredoxina reduzida, que é uma acceptora adicional de elétrons do fotossistema I do transporte de elétrons da fotossíntese (ZEIGER, 2004b). Esse processo de redução do nitrato a amônio compete com o CO<sub>2</sub> por ferredoxina reduzida (nitrito redutase, cloroplasto) e NADH no citosol (nitrato redutase). Queda na eficiência do transporte eletrônico, poderá acarretar diminuição na produção de ATP e NADPH<sub>2</sub> (nicotinamida adenina dinucleotídeo fosfato), necessários para a fixação de CO<sub>2</sub> no ciclo de Calvin-Benson e regeneração da RubP (Ribulose 1,5 bifosfato), diminuindo assim a velocidade de formação de hexoses (ZEIGER, 2004c). No entanto, as plantas cultivadas com o maior nível de N, apresentaram menor absorção deste elemento (Tabela 33) o que anula a hipótese acima registrada.

Epstein e Bloom (2006) referem que em plantas cultivadas e sujeitas à adubação excessiva, a capacidade fotossintética deixa de crescer com o conteúdo adicional de nitrogênio na folha. Sob tais condições, a eficiência de uso de nitrogênio na fotossíntese diminui porque os níveis de enzimas e pigmentos não limitam mais a fotossíntese, e mais nitrato permanece não assimilado, constituindo porção maior de nitrogênio foliar total. No presente estudo, as folhas das plantas submetidas aos menores níveis de N, tenderam a apresentar em média no ciclo maior teor desse nutriente na folha, quando comparadas com as do tratamento com solução completa, ou seja, 100% de N, P, K e Mg. Nesses tratamentos, a assimilação tendeu a ser maior. Portanto, os níveis de N, com tendência de serem maiores nas folhas, não foram excessivos. Deve ser ressaltado que o menor teor foi verificado para as folhas das plantas cultivadas com 100% de N, P, K e Mg, talvez seja consequência de competição entre os minerais.

Aos 83 DAT, entre 14:00 e 15:30 horas, as plantas cultivadas com 65% de N, 50% de P, 25% de K e 100% de Mg podem ter assimilado menos CO<sub>2</sub>, devido à diminuição de 75% de potássio, elemento que além de ativar muitas enzimas envolvidas na respiração e na fotossíntese, desempenha um importante papel na regulação osmótica das

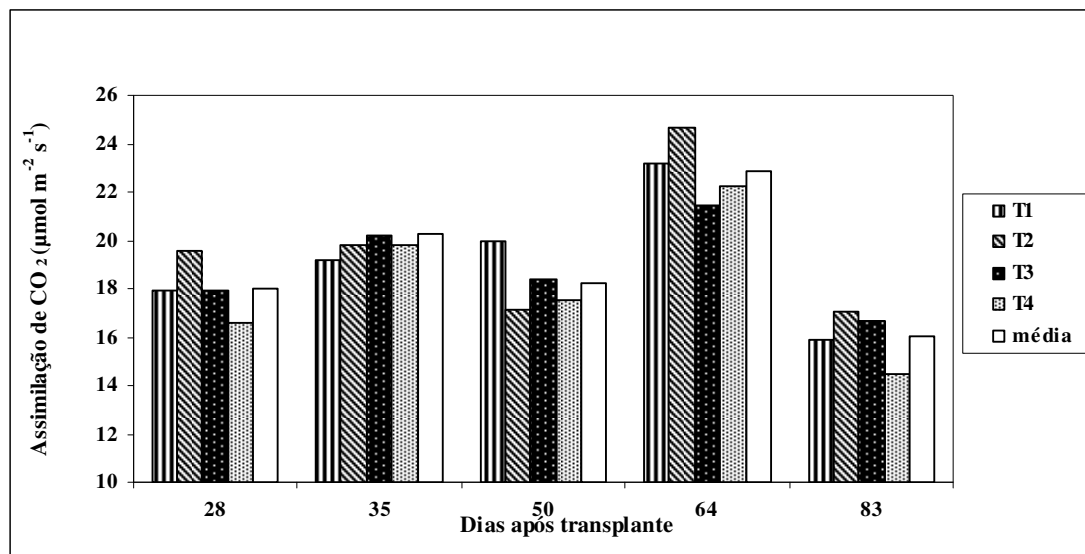
células vegetais, principalmente na célula-guarda, orientando os movimentos estomáticos, que controlam a perda de água e a assimilação de CO<sub>2</sub> (MARSCHNER, 1995; ZEIGER, 2002a).

Apesar das plantas cultivadas com 50% de N, P, K e 25% de Mg e com 50% de N, P, K e Mg, apresentarem tendência de maior assimilação de CO<sub>2</sub>, isto não resultou em maior produção de massa seca total. Segundo Larcher (2006) tanto a deficiência hídrica como a nutrição mineral insuficiente ou uma provisão desbalanceada provocam diminuição no rendimento da produção. Não compete somente ao ganho de CO<sub>2</sub> o incremento de biomassa, mas também ao controle hormonal da partição dos assimilados e ao padrão específico de crescimento da planta. Para o desenvolvimento harmônico da planta como um todo é essencial que cada órgão e tecido receba a quantidade necessária de assimilados e que este abastecimento seja efetuado no tempo correto (LARCHER, 2006).

**Tabela 16.** Análise de variância e comparação de médias da assimilação de CO<sub>2</sub>, avaliada entre 9:00 e 10:00 horas, em  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio e Mg nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005.

Análise de variância (Teste F)						
Níveis de N, P, K e Mg	Colheita	Interação Colheita x Níveis de N, P, K e Mg				
1,73	17,53*	0,68				
* significância ao nível de 5%						
Comparação entre médias (Teste Tukey)						
Níveis N/ P/ K/ Mg em relação à solução completa	Colheita (Dias após transplante)					Média níveis de N/P/K/Mg
	1 <sup>a</sup> (28)	2 <sup>a</sup> (35)	3 <sup>a</sup> (50)	4 <sup>a</sup> (64)	5 <sup>a</sup> (83)	
<b>50% N, P, K e 25% Mg</b>	17,900	21,275	19,975	23,150	15,850	<b>19,630</b>
<b>50% N, P, K e Mg</b>	19,550	19,775	17,175	24,700	17,050	<b>19,650</b>
<b>65 % N, 50% P, 25% K, 100% Mg</b>	17,950	20,225	18,375	21,000	16,700	<b>18,935</b>
<b>100% N, P, K e Mg</b>	16,550	19,775	17,550	22,200	14,450	<b>18,105</b>
<b>Média das colheitas</b>	<b>17,988</b>	<b>20,263</b>	<b>18,269</b>	<b>22,869</b>	<b>16,013</b>	<b>19,080</b>

Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de KNO<sub>3</sub>.



**Figura 17.** Assimilação de CO<sub>2</sub>, avaliada entre 9:00 e 10:00 horas, de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de N, P, K e Mg em mg L<sup>-1</sup>, nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. Valores médios ajustados pela equação polinomial de quarto grau. Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de KNO<sub>3</sub>.

T1 (50% N, P, K e 25% Mg) - 94,0/15,5/107,5/12,15 de N/P/K/Mg, mg L<sup>-1</sup>

T2 (50% N, P, K e Mg) - 94,0/15,5/107,5/24,3 de N/P/K/Mg, mg L<sup>-1</sup>

T3 (65 % N, 50% P, 25% K, 100% Mg) - 124,0/15,5/53,6/48,6 de N/P/K/Mg, mg L<sup>-1</sup>

T4 (100% N, P, K e Mg) - 189,0/31,0/214,5/48,6 de N/P/K/Mg, mg L<sup>-1</sup>

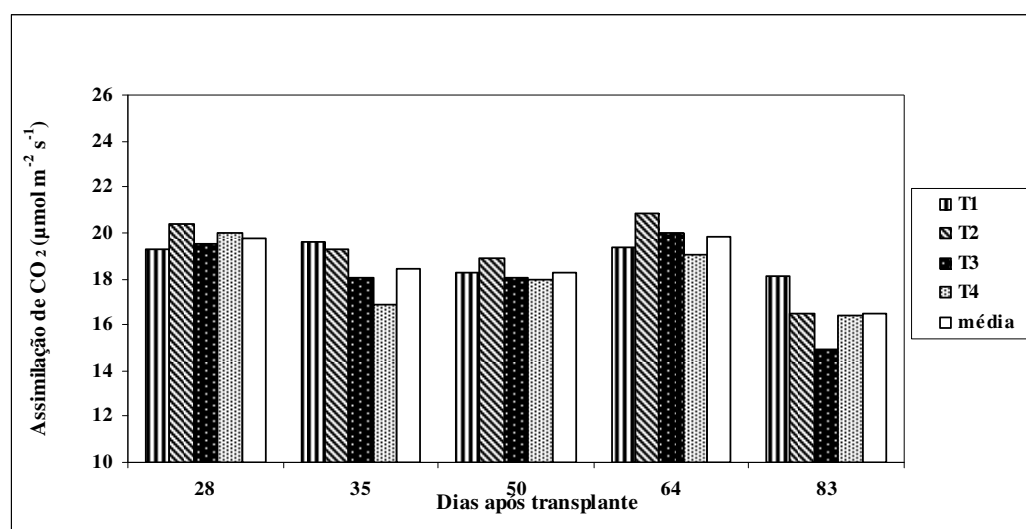
**Tabela 17.** Análise de variância e comparação de médias da assimilação de CO<sub>2</sub>, avaliada entre 14:00 e 15:30 horas, em  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio e Mg nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005.

Análise de variância (Teste F)		
Níveis de N, P, K e Mg	Colheita	Interação Colheita x Níveis de N, P, K e Mg
1,21	8,77*	1,32

\* significância ao nível de 5%

Comparação entre médias (Teste Tukey)						
Níveis N/ P/ K/ Mg em relação à solução completa	Colheita (Dias após transplante)					Média níveis de N/P/K/Mg
	1 <sup>a</sup> (28)	2 <sup>a</sup> (35)	3 <sup>a</sup> (50)	4 <sup>a</sup> (64)	5 <sup>a</sup> (83)	
<b>50% N, P, K e 25% Mg</b>	19,250	19,575 <sup>a</sup>	18,250	19,375	18,100 <sup>a</sup>	<b>18,910</b>
<b>50% N, P, K e Mg</b>	20,350	19,325 <sup>ab</sup>	18,900	20,825	16,450 <sup>ab</sup>	<b>19,170</b>
<b>65 % N, 50% P, 25% K, 100% Mg</b>	19,550	18,050 <sup>ab</sup>	18,020	20,000	14,925 <sup>b</sup>	<b>18,109</b>
<b>100% N, P, K e Mg</b>	20,000	16,850 <sup>b</sup>	17,975	19,065	16,400 <sup>ab</sup>	<b>18,058</b>
<b>Média das colheitas</b>	<b>19,788</b>	<b>18,450</b>	<b>18,286</b>	<b>19,816</b>	<b>16,469</b>	<b>18,562</b>

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade. Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de KNO<sub>3</sub>.



**Figura 18.** Assimilação de CO<sub>2</sub>, avaliada entre 14:00 e 15:30 horas, de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de N, P, K e Mg em mg L<sup>-1</sup>, nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. Valores médios ajustados pela equação polinomial cúbica. Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de KNO<sub>3</sub>.

T1 (50% N, P, K e 25% Mg) - 94,0/15,5/107,5/12,15 de N/P/K/Mg, mg L<sup>-1</sup>

T2 (50% N, P, K e Mg) - 94,0/15,5/107,5/24,3 de N/P/K/Mg, mg L<sup>-1</sup>

T3 (65 % N, 50% P, 25%K, 100% Mg) - 124,0/15,5/53,6/48,6 de N/P/K/Mg, mg L<sup>-1</sup>

T4 (100% N, P, K e Mg) - 189,0/31,0/214,5/48,6 de N/P/K/Mg, mg L<sup>-1</sup>

### 6.16. Transpiração (E)

As tendências de variação da transpiração de *Mentha piperita* L., submetida aos diferentes níveis de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio nas várias colheitas, podem ser observadas nas Figuras 19 e 20.

De modo geral, durante o ciclo, embora não tenham ocorrido marcantes diferenças de transpiração entre as plantas submetidas aos diferentes tratamentos, no período da tarde, conforme o esperado, as taxas foram mais elevadas e, além disso, apresentaram maior variação durante o ciclo. Observa-se ainda tendência de diminuição da transpiração ao longo do ciclo. Esses resultados encontram apoio nos registros de Larcher (2006) que refere que por meio da regulação estomática, a planta é capaz de modular as taxas transpiracionais de acordo com as possibilidades e as necessidades do seu balanço hídrico. As mudanças na resistência estomática são importantes para a regulação da perda de água pela planta e para o controle da taxa de absorção de dióxido de carbono necessária à fixação continuada de CO<sub>2</sub> durante a fotossíntese (ZEIGER, 2004a).

Aos 64 DAT as plantas cultivadas com 50% de N, P, K e 25% de Mg e com 50% de N, P, K e Mg apresentaram maior taxa de transpiração, quando avaliadas entre 9:00 e 10:00 horas (Tabela 18) que pode ter ocorrido devido ao grau de abertura dos estômatos, confirmado pela maior assimilação de CO<sub>2</sub> dessas plantas (Tabela 18). Esse comportamento, em média se manteve quando as plantas submetidas aos mesmos tratamentos foram avaliadas entre 14:00 e 15:30 horas (Tabela 19).

No presente estudo, as últimas leituras foram realizadas no final de junho, época em que a queda de temperatura foi responsável por diminuição das atividades metabólicas. Segundo Larcher (2006), os fatores externos influenciam a transpiração na medida em que alteram a diferença de pressão de vapor entre a superfície da planta e do ar que a envolve. A transpiração, portanto, intensifica-se com a diminuição da umidade relativa e com o aumento da temperatura do ar.

**Tabela 18.** Análise de variância e comparação de médias de transpiração, avaliada entre 9:00 e 10:00 horas, em ( $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005.

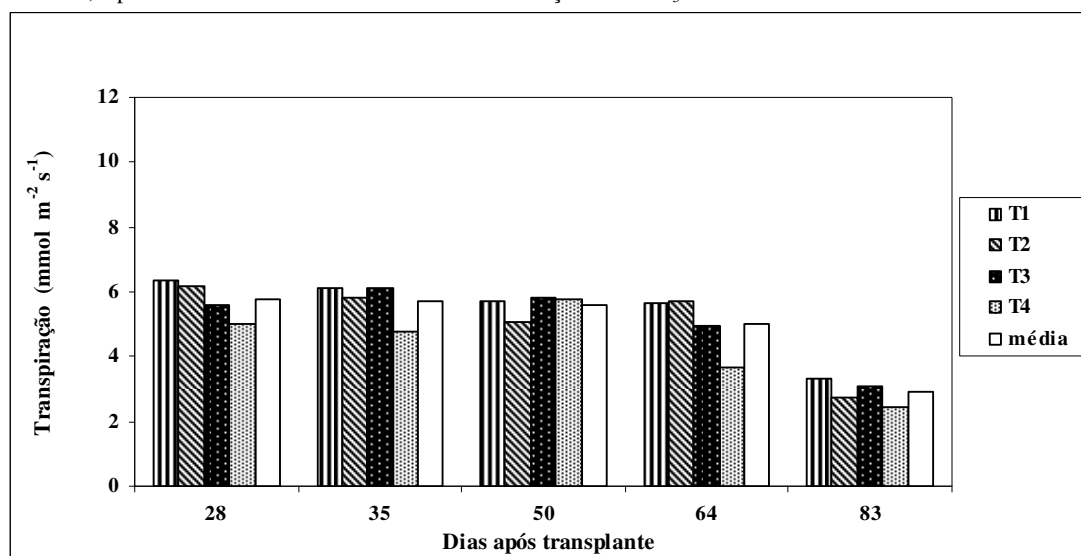
Análise de variância (Teste F)		
Níveis de N, P, K e Mg	Colheita	Interação Colheita x Níveis de N, P, K e Mg
2,70	8,80*	0,68

\* significância ao nível de 5%

Comparação entre médias (Teste Tukey)						
Níveis N/ P/ K/ Mg em relação à solução completa	Colheita (Dias após transplante)					Média níveis de N/P/K/Mg
	1 <sup>a</sup> (28)	2 <sup>a</sup> (35)	3 <sup>a</sup> (50)	4 <sup>a</sup> (64)	5 <sup>a</sup> (83)	
50% N, P, K e 25% Mg	6,355	6,115	5,712	5,670a	3,322	5,435
50% N, P, K e Mg	6,157	5,835	5,083	5,737a	2,727	5,108
65 % N, 50% P, 25% K, 100% Mg	5,617	6,102	5,845	4,940ab	3,092	5,120
100% N, P, K e Mg	5,008	4,802	5,760	3,697b	2,435	4,341
<b>Média das colheitas</b>	<b>5,784</b>	<b>5,714</b>	<b>5,600</b>	<b>5,011</b>	<b>2,894</b>	<b>5,001</b>

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade. Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de  $\text{KNO}_3$ .



**Figura 19.** Transpiração, avaliada entre 9:00 e 10:00 horas, de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de N, P, K e Mg e em  $\text{mg L}^{-1}$ , nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. Valores médios ajustados pela equação polinomial quadrática. Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de  $\text{KNO}_3$ .

T1 (50% N, P, K e 25% Mg) - 94,0/15,5/107,5/12,15 de N/P/K/Mg,  $\text{mg L}^{-1}$

T2 (50% N, P, K e Mg) - 94,0/15,5/107,5/24,3 de N/P/K/Mg,  $\text{mg L}^{-1}$

T3 (65 % N, 50% P, 25% K, 100% Mg) - 124,0/15,5/53,6/48,6 de N/P/K/Mg,  $\text{mg L}^{-1}$

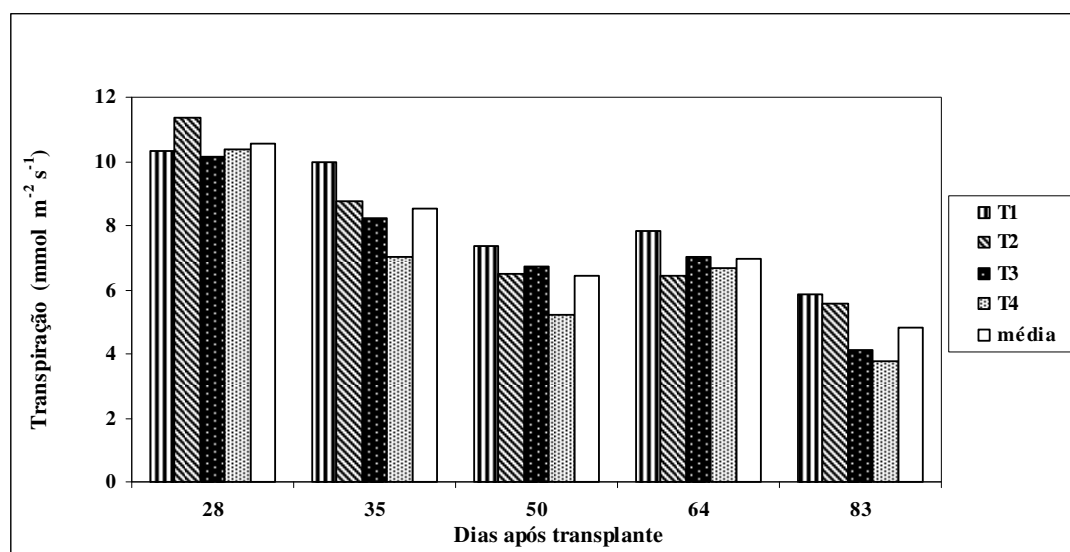
T4 (100% N, P, K e Mg) - 189,0/31,0/214,5/48,6 de N/P/K/Mg,  $\text{mg L}^{-1}$



**Tabela 19.** Análise de variância e comparação de médias de transpiração avaliada entre 14:00 e 15:30 horas, em ( $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio e Mg nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005.

Análise de variância (Teste F)						
Níveis de N, P, K e Mg	Colheita	Interação Colheita x Níveis de N, P, K e Mg				
8,21*	27,10*	1,39				
* significância ao nível de 5%						
Comparação entre médias (Teste Tukey)						
Níveis N/ P/ K/ Mg em % em relação a solução completa	Colheita (Dias após transplante)					Média níveis de N/P/K/Mg
	1 <sup>a</sup> (28)	2 <sup>a</sup> (35)	3 <sup>a</sup> (50)	4 <sup>a</sup> (64)	5 <sup>a</sup> (83)	
50% N, P, K e 25% Mg	10,340	9,962a	7,382	7,850	5,855	<b>8,278</b>
50% N, P, K e Mg	11,350	8,775ab	6,490	6,435	5,577	<b>7,726</b>
65 % N, 50% P, 25% K, 100% Mg	10,147	8,245ab	6,742	6,992	4,140	<b>7,254</b>
100% N, P, K e Mg	10,353	7,020b	5,235	6,640	3,770	<b>6,604</b>
<b>Média das colheitas</b>	<b>10,548</b>	<b>8,501</b>	<b>6,463</b>	<b>6,979</b>	<b>4,836</b>	<b>7,465</b>

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade. Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de  $\text{KNO}_3$ .



**Figura 20.** Transpiração, avaliada entre 14:00 e 15:30 horas, de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio, em  $\text{mg L}^{-1}$ , nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. Valores médios ajustados polinomial cúbica. Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de  $\text{KNO}_3$ .

T1 (50% N, P, K e 25% Mg) - 94,0/15,5/107,5/12,15 de N/P/K/Mg,  $\text{mg L}^{-1}$

T2 (50% N, P, K e Mg) - 94,0/15,5/107,5/24,3 de N/P/K/Mg,  $\text{mg L}^{-1}$

T3 (65 % N, 50% P, 25% K, 100% Mg) - 124,0/15,5/53,6/48,6 de N/P/K/Mg,  $\text{mg L}^{-1}$

T4 (100% N, P, K e Mg) - 189,0/31,0/214,5/48,6 de N/P/K/Mg,  $\text{mg L}^{-1}$

### 6.17. Concentração intercelular de CO<sub>2</sub> (C<sub>i</sub>)

As tendências de variação da concentração intercelular de CO<sub>2</sub> de *Mentha piperita* L., submetida aos diferentes níveis de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio nas várias colheitas, podem ser observadas nas Figuras 21 e 22.

As plantas nutridas com 50% de N, P, K e 25% de Mg apresentaram durante parte do ciclo tendência de maior concentração intercelular de CO<sub>2</sub> entre 9:00 e 10:00 horas (Tabela 20 e Figura 21). Entre 14:00 e 15:30 horas, as plantas nutridas com 50% de N, P, K e 25% de Mg e 50% de N, P, K e Mg apresentaram picos de C<sub>i</sub> aos 50 e 83 DAT, respectivamente (Tabela 21 e Figura 22). Apesar do acúmulo de concentração intercelular de CO<sub>2</sub> nesses tratamentos, a taxa fotossintética foi máxima, que segundo Larcher (2006), indica que a carboxilação estava próxima à saturação, ou seja, o aumento da disponibilidade de CO<sub>2</sub>, promoveu a fotossíntese até um limiar em que mais nenhum aumento considerável ocorreu.

Deve ser destacada a diferença de variação desse índice nas plantas submetidas a 65 % N, 50% P, 25% K, 100% Mg quando elas são avaliadas durante o ciclo nos dois períodos, manhã e tarde. Enquanto no período da manhã as tendências são de manutenção de concentrações mais elevadas de CO<sub>2</sub>, à tarde, de maneira geral, tais concentrações foram mais baixas.

Sob elevadas concentrações de CO<sub>2</sub>, a fotossíntese é limitada pela capacidade do ciclo de Calvin de regenerar a molécula aceptora ribulose-1,5-bifosfato, que depende das taxas de transporte de elétrons. Ao regular a condutância estomática, a maioria das folhas parece regular sua concentração intercelular de CO<sub>2</sub> de tal modo que ela é intermediária entre as limitações impostas pela capacidade de carboxilação e a capacidade de regenerar a ribulose-1,5-bifosfato (ZEIGER, 2004). As diminuições de Mg nos tratamentos com 50% de N, P, K e 25% de Mg e 50% de N, P, K e Mg, talvez tenham comprometido a atividade fotoquímica e assim, maiores concentrações de CO<sub>2</sub> foram detectadas na câmara sub-estomática das folhas a elas submetidas.

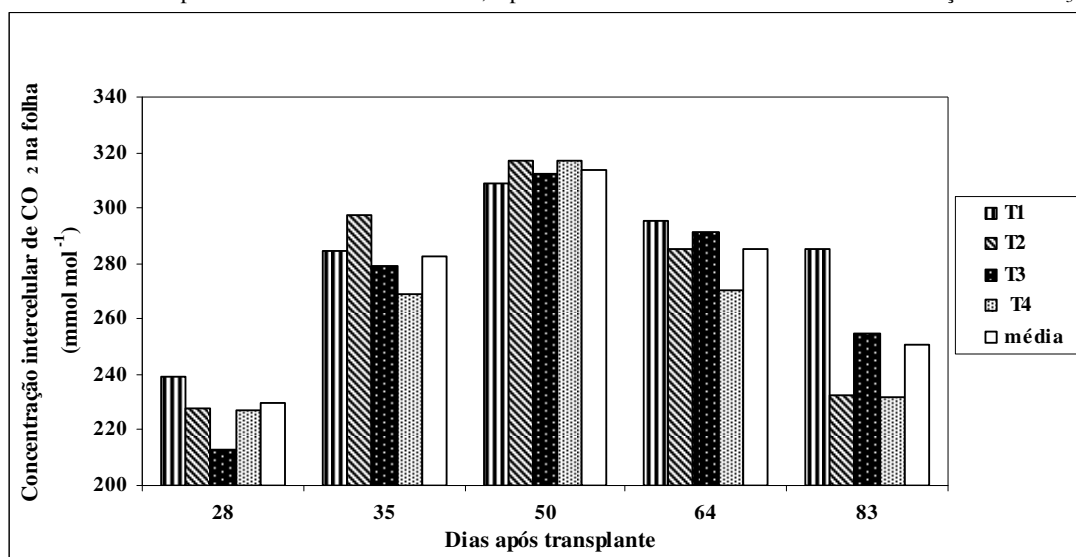
**Tabela 20.** Análise de variância e comparação de médias da concentração intercelular de CO<sub>2</sub>, avaliada entre 9:00 e 10:00 horas, em (mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005.

Análise de variância (Teste F)		
Níveis de N, P, K e Mg	Colheita	Interação Colheita x Níveis de N, P, K e Mg
0,94	8,82*	1,61

\* significância ao nível de 5%

Comparação entre médias (Teste Tukey)						
Níveis N/ P/ K/ Mg em relação à solução completa	Colheita (Dias após transplante)					Média níveis de N/P/K/Mg
	1 <sup>a</sup> (28)	2 <sup>a</sup> (35)	3 <sup>a</sup> (50)	4 <sup>a</sup> (64)	5 <sup>a</sup> (83)	
50% N, P, K e 25% Mg	239,0	284,5	309,0	295,5	285,0	<b>282,6</b>
50% N, P, K e Mg	239,0	297,3	317,0	285,0	232,3	<b>274,1</b>
65 % N, 50% P, 25% K, 100% Mg	213,0	279,0	312,5	291,0	254,8	<b>270,0</b>
100% N, P, K e Mg	226,8	269,3	317,0	270,3	231,8	<b>263,0</b>
<b>Média das colheitas</b>	<b>229,4</b>	<b>282,5</b>	<b>313,8</b>	<b>285,4</b>	<b>250,9</b>	<b>272,4</b>

Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de KNO<sub>3</sub>.



**Figura 21.** Concentração intercelular de CO<sub>2</sub>, avaliada entre 9:00 e 10:00 horas de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de N, P, K e Mg em mg L<sup>-1</sup>, nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. Valores médios ajustados pela equação polinomial quadrática. Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de KNO<sub>3</sub>.

T1 (50% N, P, K e 25% Mg) - 94,0/15,5/107,5/12,15 de N/P/K/Mg, mg L<sup>-1</sup>

T2 (50% N, P, K e Mg) - 94,0/15,5/107,5/24,3 de N/P/K/Mg, mg L<sup>-1</sup>

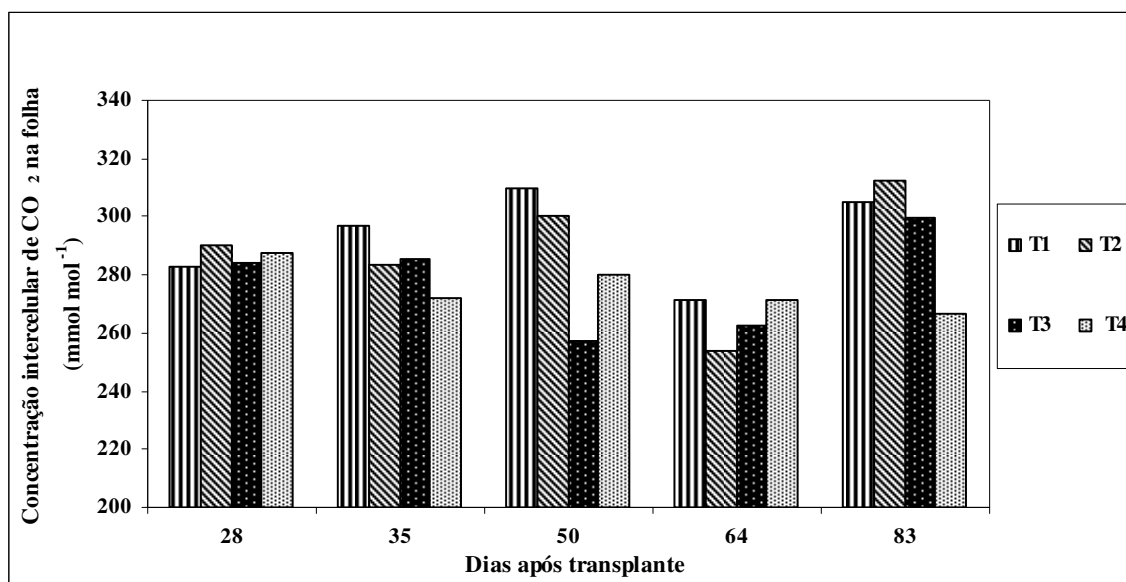
T3 (65 % N, 50% P, 25% K, 100% Mg) - 124,0/15,5/53,6/48,6 de N/P/K/Mg, mg L<sup>-1</sup>

T4 (100% N, P, K e Mg) - 189,0/31,0/214,5/48,6 de N/P/K/Mg, mg L<sup>-1</sup>

**Tabela 21.** Análise de variância e comparação de médias da concentração intercelular de CO<sub>2</sub>, avaliada entre 14:00 e 15:30 horas, em (mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005.

Análise de variância (Teste F)						
Níveis de N, P, K e Mg	Colheita		Interação Colheita x Níveis de N, P, K e Mg			
7,17*	10,65*		2,32*			
Comparação entre médias (Teste Tukey)						
Níveis N/ P/ K/ Mg em relação à solução completa	Colheita (Dias após transplante)					Média níveis de N/P/K/Mg
	1 <sup>a</sup> (28)	2 <sup>a</sup> (35)	3 <sup>a</sup> (50)	4 <sup>a</sup> (64)	5 <sup>a</sup> (83)	
50% N, P, K e 25% Mg	283,0a	296,8a	309,8a	271,5a	305,3ab	293,2
50% N, P, K e Mg	290,3a	283,5a	300,0ab	253,8a	312,5a	288,0
65 % N, 50% P, 25% K, 100% Mg	284,0a	285,8a	301,8ab	257,5a	299,8ab	285,7
100% N, P, K e Mg	287,8a	272,3a	281,0b	271,3a	266,5b	275,7
<b>Média das colheitas</b>	<b>286,2</b>	<b>284,5</b>	<b>298,1</b>	<b>263,5</b>	<b>296,0</b>	<b>285,6</b>

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade. . Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de KNO<sub>3</sub>.



**Figura 22.** Concentração intercelular de CO<sub>2</sub> (mmol mol<sup>-1</sup>), avaliada entre 14:00 e 15:30 horas, de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de N, P, K e Mg em mg L<sup>-1</sup>, nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. Valores ajustados pela equação polinomial de quarto grau (T1, T2 e T3). Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de KNO<sub>3</sub>.

T1 (50% N, P, K e 25% Mg) - 94,0/15,5/107,5/12,15 de N/P/K/Mg, mg L<sup>-1</sup>

T2 (50% N, P, K e Mg) - 94,0/15,5/107,5/24,3 de N/P/K/Mg, mg L<sup>-1</sup>

T3 (65 % N, 50% P, 25% K, 100% Mg) - 124,0/15,5/53,6/48,6 de N/P/K/Mg, mg L<sup>-1</sup>

T4 (100% N, P, K e Mg) - 189,0/31,0/214,5/48,6 de N/P/K/Mg, mg L<sup>-1</sup>

### 6.18. Condutância estomática (gs)

As tendências de variação da condutância estomática de *Mentha piperita* L., submetida aos diferentes níveis de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio nas várias colheitas, podem ser observadas nas Figuras 23 e 24.

A comparação de médias entre tratamentos, que pode ser observada na Tabela 22, revela que os tratamentos não apresentaram diferença de condutância estomática, quando as avaliações foram realizadas entre 9:00 e 10:00 horas. Apesar disso, observou-se maior variação dessa medida, ao longo do desenvolvimento, quando as plantas foram submetidas a 65 % N, 50% P, 25% K, 100% Mg. No entanto, em média, as plantas cultivadas com 50% de N, P, K e 25% de Mg e 50% de N, P, K e Mg apresentaram tendência de maior condutância (Tabela 22).

Quando, no entanto, as avaliações foram realizadas à tarde, as plantas submetidas a 65 % N, 50% P, 25% K, 100% Mg e 100% N, P, K e Mg, de modo geral, apresentaram menor condutância estomática.

A avaliação geral dos resultados para todos os tratamentos, quando são comparados os dois períodos em que foram realizadas as determinações, verifica-se que apesar do maior déficit de pressão de vapor (DPV) no período da tarde, não ocorreram diferenças marcantes na condutância estomática, indicando que, pelo provável fato das plantas terem sido conduzidas em solução nutritiva com água disponível à demanda atmosférica, houve atendimento hídrico suficiente para que a célula-guarda absorvesse água promovendo abertura estomática, que, também levou à sua maior perda. Esta observação, embora feita para todos os tratamentos, é válida, em especial, para as plantas submetidas a 50% N, P, K e 25% Mg e 50% N, P, K e Mg. Dessa forma, a análise conjunta da assimilação de CO<sub>2</sub>, da transpiração, da concentração intercelular de CO<sub>2</sub> e da condutância estomática, demonstra que as plantas submetidas a esses tratamentos, com redução de Mg, apresentaram tendência de maiores valores para essas variáveis. Isto pode ser indicativo de que elas mantiveram seus estômatos abertos, não apresentando restrição à absorção de CO<sub>2</sub> e à perda de água. O acúmulo de CO<sub>2</sub> nos espaços intercelulares sugere alteração bioquímica no aparato fotossintético, com diminuição de eficiência de carboxilação nessas plantas, uma vez que, ao aumentar a

concentração intercelular de  $\text{CO}_2$ , os estômatos deveriam fechar. Deve ser registrado ainda que as alterações metabólicas sugeridas podem estar relacionadas ao menor nível de magnésio à disposição desses vegetais.

Segundo Larcher (2006), apesar de os estômatos reagirem a várias influências, o movimento estomático obedece principalmente ao controle dos circuitos do  $\text{CO}_2$  e da  $\text{H}_2\text{O}$ . Quando a pressão parcial de  $\text{CO}_2$  nos espaços intercelulares diminui devido ao consumo de  $\text{CO}_2$  pelo processo de fotossíntese, os estômatos se abrem.

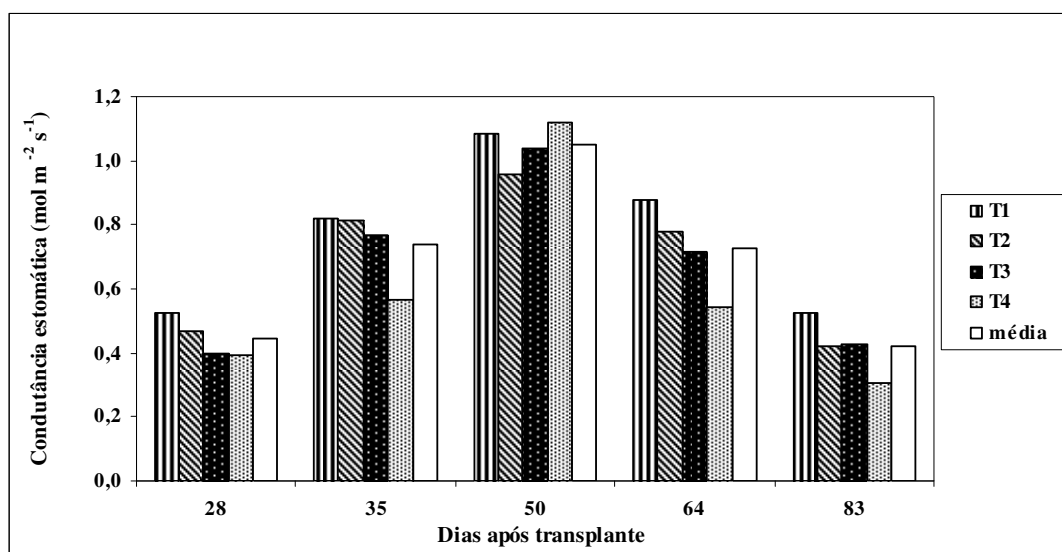
**Tabela 22.** Análise de variância e comparação de médias da condutância estomática, avaliada entre 9:00 e 10:00 horas, em ( $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005.

Análise de variância (Teste F)		
Níveis de N, P, K e Mg	Colheita	Interação Colheita x Níveis de N, P, K e Mg
1,74	14,03*	0,64

\* significância ao nível de 5%

Comparação entre médias (Teste Tukey)						
Níveis N/ P/ K/ Mg em relação à solução completa	Colheita (Dias após transplante)					Média níveis de N/P/K/Mg
	1 <sup>a</sup> (28)	2 <sup>a</sup> (35)	3 <sup>a</sup> (50)	4 <sup>a</sup> (64)	5 <sup>a</sup> (83)	
50% N, P, K e 25% Mg	0,527	0,820	1,086	0,878	0,525	<b>0,767</b>
50% N, P, K e Mg	0,465	0,810	0,960	0,781	0,419	<b>0,687</b>
65 % N, 50% P, 25 % K, 100% Mg	0,396	0,767	1,037	0,717	0,429	<b>0,670</b>
100% N, P, K e Mg	0,391	0,564	1,122	0,539	0,305	<b>0,585</b>
<b>Média das colheitas</b>	<b>0,445</b>	<b>0,741</b>	<b>1,051</b>	<b>0,729</b>	<b>0,420</b>	<b>0,677</b>

Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de  $\text{KNO}_3$ .



**Figura 23.** Condutância estomática, avaliada entre 9:00 e 10:00 horas, de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de N, P, K e Mg em  $\text{mg L}^{-1}$ , nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. Valores médios ajustados pela equação polinomial cúbica. Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de  $\text{KNO}_3$ .

T1 (50% N, P, K e 25% Mg) - 94,0/15,5/107,5/12,15 de N/P/K/Mg,  $\text{mg L}^{-1}$

T2 (50% N, P, K e Mg) - 94,0/15,5/107,5/24,3 de N/P/K/Mg,  $\text{mg L}^{-1}$

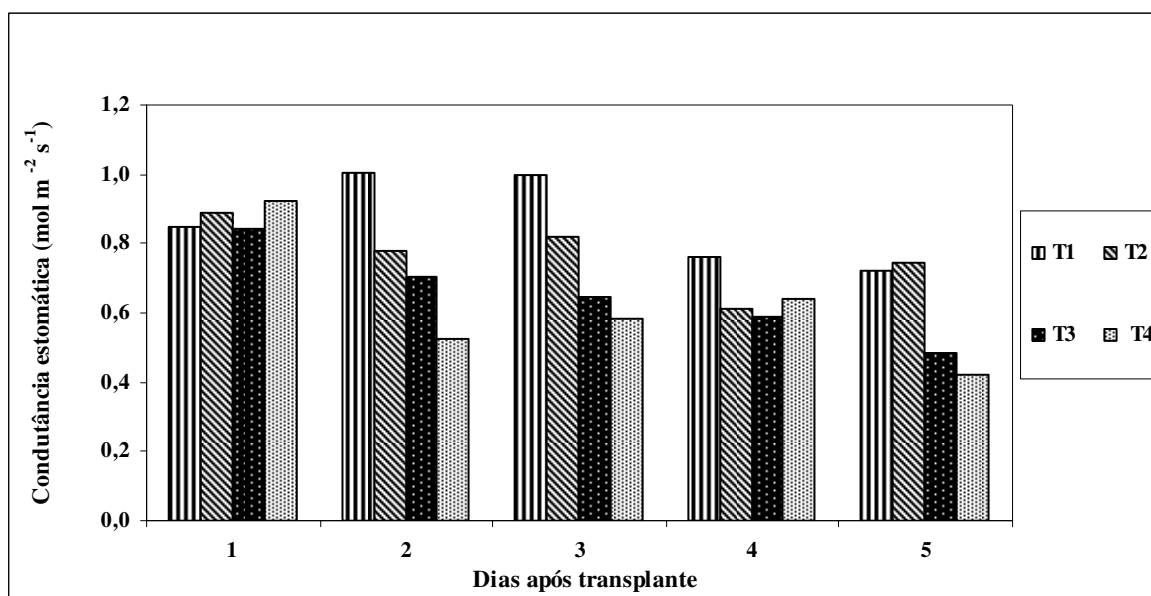
T3 (65 % N, 50% P, 25 % K, 100% Mg) - 124,0/15,5/53,6/48,6 de N/P/K/Mg,  $\text{mg L}^{-1}$

T4 (100% N, P, K e Mg) - 189,0/31,0/214,5/48,6 de N/P/K/Mg,  $\text{mg L}^{-1}$

**Tabela 23.** Análise de variância e comparação entre médias da condutância estomática avaliada entre 14:00 e 15:30 horas, em ( $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005.

Análise de variância (Teste F)						
Níveis de N, P, K e Mg	Colheita	Interação Colheita x Níveis de N, P, K e Mg				
9,90 *	9,87 *	2,09 *				
* significância ao nível de 5%						
Comparação entre médias (Teste Tukey)						
Níveis N/ P/ K/ Mg em relação à solução completa	Colheita (Dias após transplante)					Média níveis de N/P/K/Mg
	1 <sup>a</sup> (28)	2 <sup>a</sup> (35)	3 <sup>a</sup> (50)	4 <sup>a</sup> (64)	5 <sup>a</sup> (83)	
50% N, P, K e 25% Mg	0,846	1,006a	0,999	0,762	0,7218a	<b>0,867</b>
50% N, P, K e Mg	1,040	0,777ab	0,820	0,611	0,745a	<b>0,799</b>
65 % N, 50% P, 25% K, 100% Mg	0,842	0,705ab	0,838	0,643	0,483a	<b>0,703</b>
100% N, P, K e Mg	0,925	0,523b	0,557	0,639	0,424a	<b>0,614</b>
<b>Média das colheitas</b>	<b>0,913</b>	<b>0,753</b>	<b>0,804</b>	<b>0,664</b>	<b>0,594</b>	<b>0,867</b>

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade. Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de  $\text{KNO}_3$ .



**Figura 24.** Condutância estomática avaliada entre 14:00 e 15:30 horas de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio e Mg em  $\text{mg L}^{-1}$ , nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. Valores ajustados pela equação linear (T3) e polinomial cúbica (T4). Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de  $\text{KNO}_3$ .

T1 (50% N, P, K e 25% Mg) - 94,0/15,5/107,5/12,15 de N/P/K/Mg,  $\text{mg L}^{-1}$

T2 (50% N, P, K e Mg) - 94,0/15,5/107,5/24,3 de N/P/K/Mg,  $\text{mg L}^{-1}$

T3 (65 % N, 50% P, 25% K, 100% Mg) - 124,0/15,5/53,6/48,6 de N/P/K/Mg,  $\text{mg L}^{-1}$

T4 (100% N, P, K e Mg) - 189,0/31,0/214,5/48,6 de N/P/K/Mg,  $\text{mg L}^{-1}$



### 6.19. Ponto de compensação de CO<sub>2</sub> (*PtCe*)

As tendências de variação do ponto de compensação de CO<sub>2</sub> de *Mentha piperita* L., submetida aos diferentes níveis de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio nas várias colheitas, podem ser observadas na Figura 25.

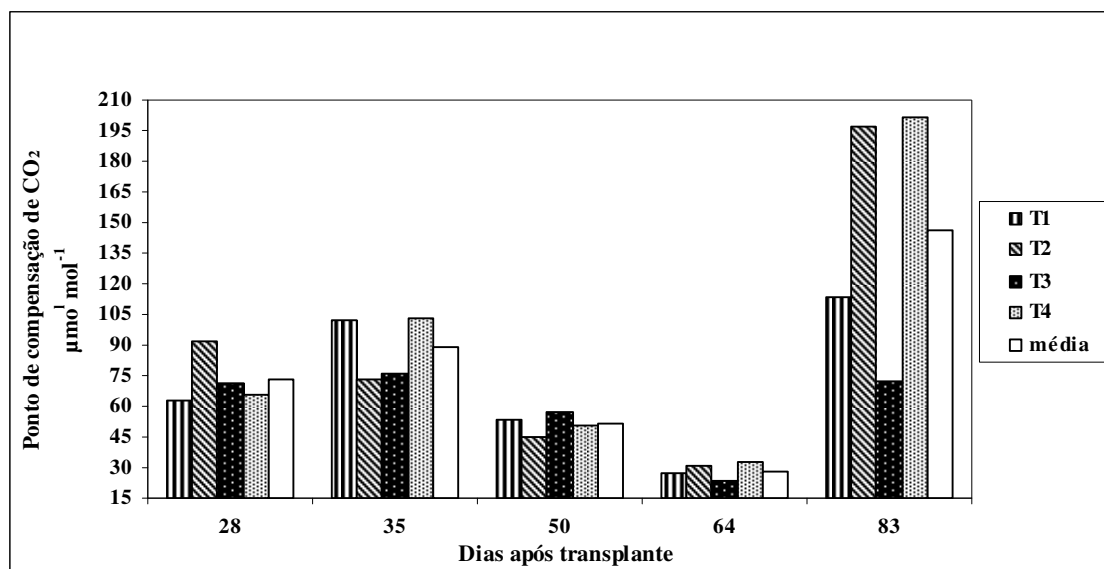
Segundo Zeiger (2004a), sob baixas concentrações de CO<sub>2</sub>, a fotossíntese é limitada pela capacidade de carboxilação da enzima Rubisco. Sob altas concentrações de CO<sub>2</sub>, o processo fotossintético é limitado pela capacidade do ciclo de carboxilação regenerar a molécula acceptora ribulose 1,5-bisfosfato (RubP), que depende das taxas de transporte de elétrons. Portanto, o ponto de compensação de CO<sub>2</sub>, apesar de ser determinado em concentrações baixas deste gás, mas que ocorre juntamente com o processo normal de assimilação de dióxido de carbono, em concentrações atmosféricas saturantes para a fotossíntese de plantas C3, reflete o nível de fotorrespiração que está ocorrendo no metabolismo foliar (ZEIGER, 2004a).

O ponto de compensação de CO<sub>2</sub> apresentou, em média, tendência de ser menor nas plantas nutridas com 65% de N, 50% de P, 25% de K e 100% de Mg (Tabela 24). Esse fato talvez possa ser justificado e apesar dessas plantas não terem apresentado maior assimilação de CO<sub>2</sub> (Tabelas 16 e 17), mostraram tendência de maior produção de massa seca lâminas foliares (Tabela 6), órgão de interesse econômico para essa espécie, uma vez que o óleo essencial é retirado da parte aérea, em especial das folhas, indicando que as reduções dos nutrientes não interferiram com o transporte de elétrons dos fotossistemas e conseqüentemente com a produção de NADPH e ATP, o que garantiu a regeneração de RubP, importante para o ciclo de Calvin (ZEIGER, 2004). Esses resultados levam à idéia de que os níveis dos nutrientes nesses tratamentos foram suficientes para o cultivo da *Mentha piperita* L.

**Tabela 24.** Análise de variância e comparação entre médias do ponto de compensação de CO<sub>2</sub>, em  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005.

Análise de variância (Teste F)						
Níveis de N, P, K e Mg	Colheita	Interação Colheita x Níveis de N, P, K e Mg				
1,32	6,56*	1,60				
*significância ao nível de 5%						
Comparação entre médias (Teste Tukey)						
Níveis N/ P/ K/ Mg em relação à solução completa	Colheita (Dias após transplante)					Média níveis de N/P/K/Mg
	1 <sup>a</sup> (28)	2 <sup>a</sup> (35)	3 <sup>a</sup> (50)	4 <sup>a</sup> (64)	5 <sup>a</sup> (83)	
50% N, P, K e 25% Mg	63,883b	102,629	53,306	27,162	113,203	<b>72,188</b>
50% N, P, K e Mg	91,720a	73,330	44,899	30,496	196,419	<b>87,370</b>
65 % N, 50% P, 25% K, 100% Mg	71,012ab	76,009	57,169	23,110	72,484	<b>59,960</b>
100% N, P, K e Mg	65,462b	103,389	50,900	32,647	201,780	<b>90,836</b>
<b>Média das colheitas</b>	<b>73,689</b>	<b>88,840</b>	<b>51,569</b>	<b>28,354</b>	<b>145,972</b>	<b>76,860</b>

Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de KNO<sub>3</sub>.



**Figura 25.** Ponto de compensação de CO<sub>2</sub> de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de N, P, K e Mg em  $\text{mg L}^{-1}$ , nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. Valores médios ajustados pela equação polinomial cúbica. Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de KNO<sub>3</sub>.

T1 (50% N, P, K e 25% Mg) - 94,0/15,5/107,5/12,15 de N/P/K/Mg,  $\text{mg L}^{-1}$

T2 (50% N, P, K e Mg) - 94,0/15,5/107,5/24,3 de N/P/K/Mg,  $\text{mg L}^{-1}$

T3 (65 % N, 50% P, 25% K, 100% Mg) - 124,0/15,5/53,6/48,6 de N/P/K/Mg,  $\text{mg L}^{-1}$

T4 (100% N, P, K e Mg) 189,0/31,0/214,5/48,6 de N/P/K/Mg,  $\text{mg L}^{-1}$

## 6.20. Resistência estomática (S%)

As tendências de variação da resistência estomática de *Mentha piperita* L., submetida aos diferentes níveis de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio nas várias colheitas, podem ser observadas na Figura 26.

Aos 28 DAT reduções de 50% das concentrações de K e Mg nas plantas cultivadas com 50% de N, P, K e Mg aumentaram a resistência estomática (Tabela 25), o que pode ter ocorrido em função de interações entre K e Mg, em que o primeiro está intimamente relacionado ao ajuste osmótico da célula-guarda e o segundo com o processo de transferência eletrônica no fotossistema II (Tabela 25).

Quando a diminuição em K na solução foi de 75% e o teor de Mg mantido em 100%, nas plantas cultivadas com 65% de N, 50% de P, 25% de K e 100% de Mg houve menor efeito relativo da resistência estomática sobre a assimilação de CO<sub>2</sub> (Tabela 25), talvez porque o teor de K nessa concentração não tenha sido suficiente para manter a restrição estomática em nível semelhante ao verificado quando as plantas contaram com 25% a mais desse nutriente, no tratamento com 50% de N, P, K e Mg.

Com nutrientes em concentração completa, as atividades fotoquímicas e bioquímicas deveriam se apresentar em condições adequadas de produção de ATP e NADPH, além do processo de carboxilação da enzima Rubisco estar teoricamente funcionando com atividade e taxa máxima, uma vez que o nitrogênio também se encontrava em seu nível completo (Tabela 25). No entanto, as plantas cultivadas com solução completa apresentaram, em média, tendência de maior resistência estomática ao longo do ciclo, indicando maior controle no ajuste osmótico da célula-guarda, o que pode ser justificado pelos menores valores médios de assimilação de CO<sub>2</sub> (Tabelas 16 e 17), concentração intercelular de CO<sub>2</sub> (Tabelas 20 e 21), transpiração (Tabelas 18 e 19) e condutância estomática (Tabelas 22 e 23) nessas plantas. Deve-se, no entanto, ressaltar que sendo esta apenas tendência, os níveis dos nutrientes na solução completa podem ou não ser excessivos para o cultivo da *Mentha piperita* L. Para elucidar tal dúvida, no único momento de avaliação em que foram identificadas diferenças entre as médias de tratamentos, aos 28 DAT, não ocorreram diferenças entre as plantas submetidas ao tratamento completo, e ao tratamento com 65 % N, 50% P, 25% K, 100% Mg, com o nível de nutrientes reduzidos.

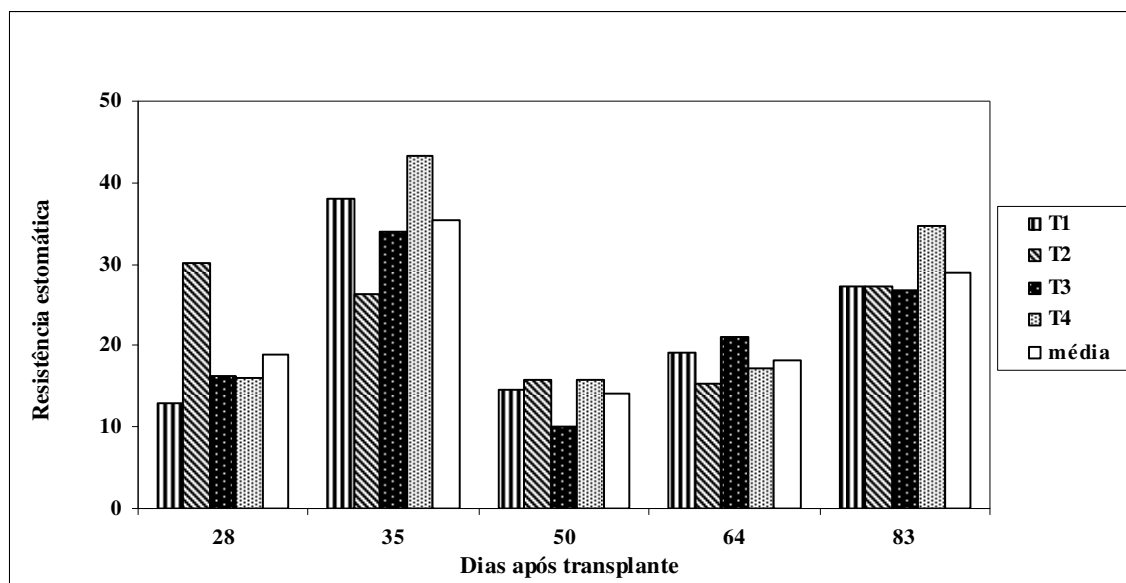
**Tabela 25.** Análise de variância e comparação entre médias da resistência estomática, de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005.

Análise de variância (Teste F)		
Níveis de N, P, K e Mg	Colheita	Interação Colheita x Níveis de N, P, K e Mg
0,27	4,40*	0,96

\* significância ao nível de 5%

Comparação entre médias (Teste Tukey)						
Níveis N/ P/ K/ Mg em relação à solução completa	Colheita (Dias após transplante)					Média níveis de N/P/K/Mg
	1 <sup>a</sup> (28)	2 <sup>a</sup> (35)	3 <sup>a</sup> (50)	4 <sup>a</sup> (64)	5 <sup>a</sup> (83)	
50% N, P, K e 25% Mg	12,816b	38,149	14,529	19,246	27,313	22,411
50% N, P, K e Mg	30,119a	26,349	15,728	15,274	27,183	22,931
65 % N, 50% P, 25% K, 100% Mg	16,343b	33,961	9,976	20,975	26,892	21,630
100% N, P, K e Mg	16,118b	43,194	15,907	17,232	34,771	25,445
<b>Média das colheitas</b>	<b>18,850</b>	<b>35,414</b>	<b>14,036</b>	<b>18,182</b>	<b>29,040</b>	<b>23,104</b>

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade. . Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de KNO<sub>3</sub>.



**Figura 26.** Resistência estomática de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de N, P, K e Mg em mg L<sup>-1</sup>, nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. Valores médios ajustados pela equação polinomial de quarto grau. Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de KNO<sub>3</sub>.

T1 (50% N, P, K e 25% Mg) - 94,0/15,5/107,5/12,15 de N/P/K/Mg, mg L<sup>-1</sup>

T2 (50% N, P, K e Mg) - 94,0/15,5/107,5/24,3 de N/P/K/Mg, mg L<sup>-1</sup>

T3 (65 % N, 50% P, 25% K, 100% Mg) - 124,0/15,5/53,6/48,6 de N/P/K/Mg, mg L<sup>-1</sup>

T4 (100% N, P, K e Mg) - 189,0/31,0/214,5/48,6 de N/P/K/Mg, mg L<sup>-1</sup>

### 6.21. Eficiência de carboxilação da enzima Rubisco

As tendências de variação da eficiência de carboxilação da enzima Rubisco de *Mentha piperita* L., submetida aos diferentes níveis de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio nas várias colheitas, podem ser observadas na Figura 27.

As reduções em N, P, K e Mg na solução nutritiva não alteraram a eficiência de carboxilação da enzima Rubisco (Tabela 26). Munsri (1992) demonstrou que a aplicação de N e P aumentou a produção de massa fresca e seca em menta japonesa. Assim como esse trabalho outros, também relacionam a produção biológica da planta, sem, no entanto, avaliarem os aspectos bioquímicos envolvidos no processo. As plantas nutridas com 100% de N, P, K e Mg, foram as que apresentaram maiores variações na eficiência de carboxilação da Rubisco, durante o ciclo (Figura 27). Devem ser ressaltadas as respostas das plantas submetidas a 65 % N, 50% P, 25% K, 100% Mg, que mantiveram praticamente constante a eficiência de carboxilação da Rubisco ao longo do ciclo.

Segundo Larcher (2006), sob deficiência mineral, as plantas são limitadas em seu crescimento e seu desenvolvimento é anormal.

Zeiger (2002) destacou que o estado nutricional da planta altera sobremaneira a capacidade fotossintética da folha, principalmente no que diz respeito aos teores de nitrogênio, que podem alterar a eficiência de carboxilação da enzima Rubisco. FARQUHAR e SHARKEY (1982) destacaram que a estimativa da eficiência de carboxilação pode correlacionar-se com a capacidade produtiva da planta

Assim, no presente estudo as plantas submetidas a 65 % N, 50% P, 25% K, 100% Mg, tiveram à sua disposição adequada quantidade dos nutrientes, uma vez que mantiveram praticamente constante a eficiência de carboxilação da enzima Rubisco, sem alteração da assimilação de CO<sub>2</sub> (Tabelas 16 e 17 e Figuras 17 e 18).

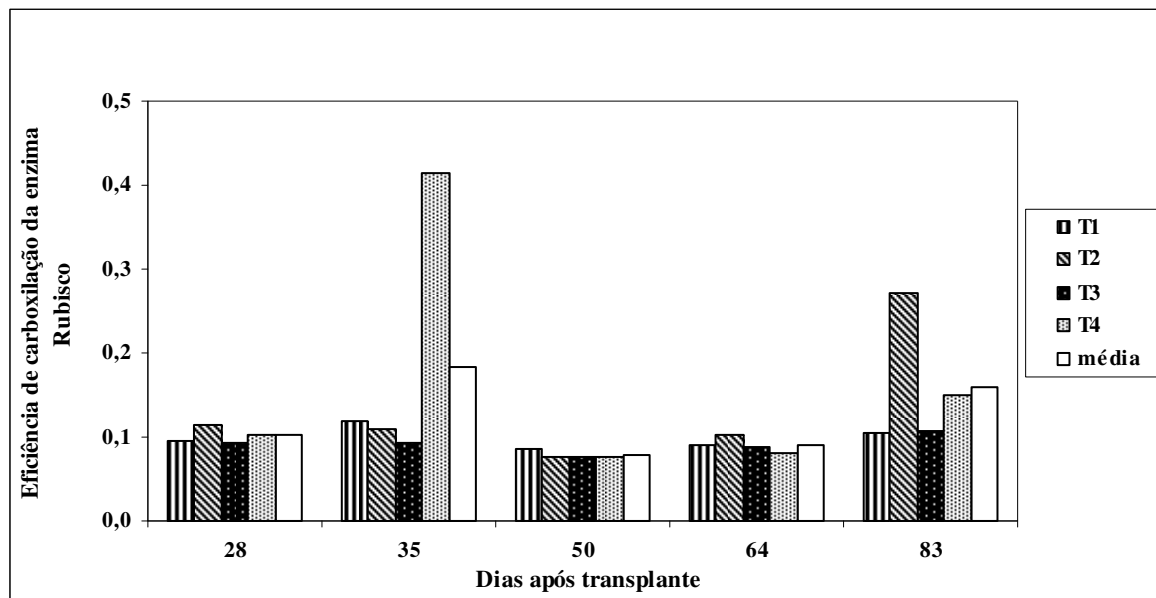
**Tabela 26.** Análise de variância e comparação entre médias da eficiência de carboxilação da enzima Rubisco, de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005.

Análise de variância (Teste F)						
Níveis de N, P, K e Mg	Colheita		Interação Colheita x Níveis de N, P, K e Mg			
0,77	1,84		1,12			

Comparação entre médias (Teste Tukey)						
Níveis N/ P/ K/ Mg em relação à solução completa	Colheita (Dias após transplante)					Média níveis de N/P/K/Mg
	1 <sup>a</sup> (28)	2 <sup>a</sup> (35)	3 <sup>a</sup> (50)	4 <sup>a</sup> (64)	5 <sup>a</sup> (83)	
50% N, P, K e 25% Mg	0,096	0,117	0,086	0,091	0,105	<b>0,099</b>
50% N, P, K e Mg	0,114	0,108	0,075	0,102	0,271	<b>0,134</b>
65 % N, 50% P, 25% K, 100% Mg	0,093	0,093	0,077	0,088	0,106	<b>0,092</b>
100% N, P, K e Mg	0,101	0,414	0,075	0,080	0,175	<b>0,169</b>
<b>Média das colheitas</b>	<b>0,101</b>	<b>0,184</b>	<b>0,079</b>	<b>0,090</b>	<b>0,165</b>	<b>0,124</b>

Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de KNO<sub>3</sub>



**Figura 27.** Eficiência de carboxilação da enzima Rubisco de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de N, P, K e Mg em mg L<sup>-1</sup>, nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de KNO<sub>3</sub>.

T1 (50% N, P, K e 25% Mg) - 94,0/15,5/107,5/12,15 de N/P/K/Mg, mg L<sup>-1</sup>

T2 (50% N, P, K e Mg) - 94,0/15,5/107,5/24,3 de N/P/K/Mg, mg L<sup>-1</sup>

T3 (65 % N, 50% P, 25% K, 100% Mg) - 124,0/15,5/53,6/48,6 de N/P/K/Mg, mg L<sup>-1</sup>

T4 (100% N, P, K e Mg) - 189,0/31,0/214,5/48,6 de N/P/K/Mg, mg L<sup>-1</sup>

## 6.22. Rendimento de óleo essencial

As tendências de variação do rendimento de óleo essencial de *Mentha piperita* L., submetida aos diferentes níveis de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio nas várias colheitas, podem ser observadas na Figura 28.

As plantas submetidas a 65% de N, 50% de P, 25% de K e 100% de Mg, que revelaram maior tendência de produção de massa seca de lâminas foliares (Tabela 6), apresentaram, em média maior rendimento de óleo essencial (Figura 28 e Tabela 27). Deve ainda ser destacada a maior tendência de rendimento de óleo essencial mais precoce no ciclo em relação às plantas nutridas com solução completa, que além de apresentarem o ponto de máximo rendimento mais tarde, esse máximo não atingiu os níveis de rendimento apresentados pelas plantas nutridas com 65 % N, 50% P, 25% K, 100% Mg.

Esses resultados concordam com os observados por Valmorbidia (2003) e David (2006), de maiores rendimentos de óleo essencial em *Mentha piperita* L, cultivada em solução nutritiva com redução de 75% de K e 50% de P, respectivamente. No presente estudo, no tratamento com 65% de N, 50% de P, 25% de K e 100% de Mg, as plantas foram cultivadas com reduções de P e K semelhantes aos estudos acima citados.

Os óleos voláteis são substâncias encontradas em várias partes das plantas (SIMÕES e SPITZER, 1999), formados por terpenóides (mono e sesquiterpenos) e/ou lignóides (Alil-e propenilfenóis e cumarinas) (GOTTILEB, 1985). Os terpenos, ou terpenóides são produzidos no metabolismo secundário, ou seja, são sintetizados a partir de substâncias do metabolismo primário. Recentemente descobriu-se que a produção de metabólitos secundários está intimamente relacionada à defesa da planta (TAIZ, 2004). Isto talvez explique o fato de, no presente estudo, as plantas nutridas com níveis de N, P e K respectivamente 35%, 50% e 75% menores terem apresentado maior rendimento de óleo essencial (Tabela 27). Nesse caso, apesar das plantas não terem manifestado sinais de deficiência, seu metabolismo secundário pode ter detectado tal estresse quando os níveis de N, P e K foram reduzidos.

A influência da nutrição mineral na produção de metabólitos secundários apresenta resultados contraditórios na literatura. Ming (1992) estudou *Lippia alba* (Mill.) N.E.Br. e constatou que quanto maior a dose de adubo orgânico, maior a biomassa

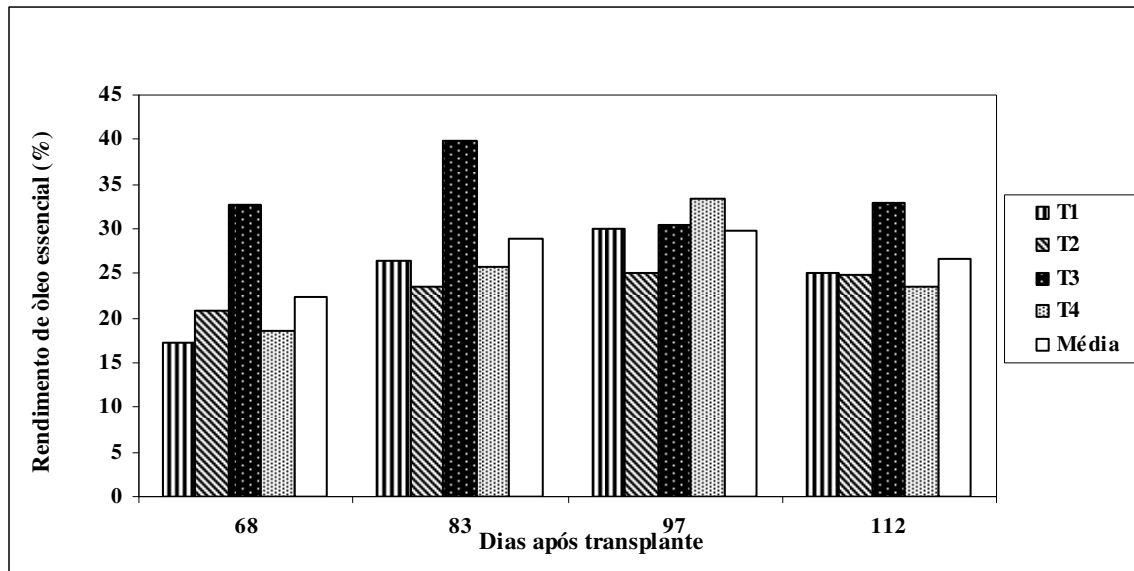
produzida e menor a concentração de óleos essenciais. Piccaglia et al. (1993) não verificaram efeito marcante da adubação no rendimento de óleo essencial. Em *Achillea millefolium* L. houve aumento da biomassa e do rendimento de óleo essencial com o aumento da adubação orgânica (CÔRREA JÚNIOR, 1994). Praszna e Bernáth (1993) verificaram que plantas com omissão de fósforo apresentaram diminuição de óleo essencial.



**Tabela 27.** Análise de variância e comparação entre médias de rendimento de óleo essencial (mg (%) 30 g<sup>-1</sup> massa seca) de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005.

Análise de variância (Teste F)					
Níveis de N, P, K e Mg	Colheita	Interação Colheita x Níveis de N, P, K e Mg			
4,97*	2,45	0,79			
* significância ao nível de 5%					
Comparação entre médias (Teste Tukey)					
Níveis N/ P/ K/ Mg em relação à solução completa	Colheita (Dias após transplante)				Média níveis de N/P/K/Mg
	1 <sup>a</sup> (69)	2 <sup>a</sup> (84)	3 <sup>a</sup> (98)	4 <sup>a</sup> (113)	
50% N, P, K e 25% Mg	17,288	26,397	30,015	24,995	24,675 b
50% N, P, K e Mg	20,812	23,564	25,151	24,917	23,611 b
65 % N, 50% P, 25% K, 100% Mg	32,644	39,776	30,494	32,824	33,935 a
100% N, P, K e Mg	18,507	25,851	33,425	23,467	25,313 b
Média das colheitas	22,313	28,897	29,772	26,551	26,883

Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de KNO<sub>3</sub>.



**Figura 28.** Rendimento de óleo essencial de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de N, P, K e Mg em mg L<sup>-1</sup>, nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. Valores médios ajustados pela equação polinomial quadrática. Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de KNO<sub>3</sub>.

T1 (50% N, P, K e 25% Mg) - 94,0/15,5/107,5/12,15 de N/P/K/Mg, mg L<sup>-1</sup>

T2 (50% N, P, K e Mg) - 94,0/15,5/107,5/24,3 de N/P/K/Mg, mg L<sup>-1</sup>

T3 (65 % N, 50% P, 25% K, 100% Mg) - 124,0/15,5/53,6/48,6 de N/P/K/Mg, mg L<sup>-1</sup>

T4 (100% N, P, K e Mg) - 189,0/31,0/214,5/48,6 de N/P/K/Mg, mg L<sup>-1</sup>

### 6.23. Composição de óleo essencial

A composição de óleo essencial de *Mentha piperita* L., submetida aos diferentes níveis de nitrogênio, fósforo, potássio e Mg nas várias colheitas, pode ser observada na Tabela 28.

Doze componentes no óleo essencial de *Mentha piperita* L. foram identificados,  $\alpha$ -pineno, sabineno,  $\beta$ -pineno, 1,8 cineol, terpinoleno, mentona, mentofurano, neomentol, mentol, isomentol, pulegona e acetato de metila (Tabela 28).

Os componentes majoritários encontrados no óleo foram mentol, mentona, mentofurano e acetato de mentila. Na primeira colheita, aos 69 DAT, as plantas apresentaram maiores teores de mentol e mentona (Figuras 29 e 30) e menores de mentofurano e acetato de mentila (Figuras 31 e 32), tendo sido esta a melhor época para a extração do óleo essencial. Deve ser registrada a tendência de maior rendimento de óleo na média dos tratamentos na terceira colheita, aos 98 DAT. Para as plantas cultivadas com 65 % N, 50% P, 25% K, 100% Mg melhor tendência de rendimento foi observada na 2<sup>a</sup> colheita (Figura 27 e Figura 28). No entanto, além do rendimento a composição deve ser avaliada. Por outro lado, não se justifica manter a espécie por mais tempo no campo, o que além de resultar em maior custo de produção, poderia tornar a planta susceptível a outros problemas que poderiam inclusive resultar em menor rendimento de óleo com baixa qualidade, devido a possíveis alterações em sua composição.

Gershenzon et al. (2000), estudando a regulação da acumulação dos monoterpenos em folhas de *Mentha piperita* L., cultivadas em câmara de crescimento observaram aumento na acumulação de monoterpenos nas folhas dos 12 aos 20 dias após o início das análises coincidindo com o pico na biossíntese dos monoterpenos. Após este período, as proporções de limoneno, mentofurano, mentona e pulegona diminuiriam com a idade das folhas, enquanto mentol, 1,8-cineol e neomentol aumentaram. O maior constituinte encontrado, mentona, aumentou de 36% aos cinco dias para 75% aos 15 dias, diminuindo para 10% aos 55 dias da análise. Foram encontrados traços de mentol até os 15 dias, sendo detectado 54% dele aos 55 dias da análise.

Variações químicas e físicas dos componentes do óleo essencial de menta podem ocorrer por se tratar de uma mistura de compostos de diversas naturezas que a planta acumula a taxas específicas. Dessa forma, os teores das substâncias presentes no óleo, são muito dependentes de fatores ambientais e plantas desenvolvidas sob diferentes condições podem conter óleos com características diferentes (MAIA, 1998). Leal (2002), Valmorbidia (2003) e David (2006) ao avaliarem *Mentha piperita* L. cultivada respectivamente com diferentes níveis de N, K e P, observaram diferentes composições do óleo essencial. Leal (2002) obteve os componentes, alfa-pineno, sabineno, beta-pineno, mirceno, 3-octanol, alfa-terpineno, para-cimeno, limoneno, 1,8-cineol, cis-ocimeno, gama-terpineno, isoterpinoleno, terpinoleno, mentona, mentofurano, mentol, isomentol, pulegone, acetato de neomentila, acetato de mentila, acetato de isomentila, trans-cariofileno e germacreno. Valmorbidia (2003) identificou mentona, mentol, mentofurano, 1,8 cineol, pulegona acetato de mentila, limoneno, isomentol terpinoleno e beta-pineno. David (2006) verificou a presença de  $\alpha$ -pineno,  $\beta$ -pineno, mirceno,  $\alpha$ -limoneno, 1,8, cineol, terpinoleno, mentona, mentofurano, mentol, isomentol, pulegona e acetato de mentila. Alguns componentes foram identificados em todos os estudos. Cabe ressaltar que esses experimentos foram realizados em épocas diferentes do ano.

No presente estudo em que as plantas foram cultivadas com variação de N, P, K e Mg ao mesmo tempo verificou-se também a presença de outros componentes do óleo essencial, como o neomentol. Dessa forma, pode-se constatar que a nutrição mineral influenciou a composição do óleo essencial da *Mentha piperita* L.

**Tabela 28.** Composição do óleo essencial (%), de *Mentha piperita* L., cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio, nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. Valores médios das três colheitas.

Componente (%)	Nível de N/P/ K/ Mg (mg L <sup>-1</sup> )			
	50% N, P, K e 25% Mg	50% N, P, K e Mg	63% N, 50% P, 25% K e 100% Mg	100% N, P, K e Mg
α-pineno	0,215	0,154	0,180	0,203
sabineno	0,143	0,110	0,142	0,132
β-pineno	0,429	0,342	0,355	0,399
1,8 cineol	3,543	2,424	3,546	3,077
terpinoleno	0,668	0,571	0,793	0,716
mentona	8,446	7,773	7,498	10,370
mentofurano	33,614	31,508	28,592	30,841
neomentol	3,287	3,269	3,263	3,159
Mentol	33,918	35,318	35,881	31,989
isomentol	0,524	0,443	2,165	0,359
pulegona	0,741	0,365	0,624	0,726
acetato de mentila	13,173	12,648	17,063	15,155

#### 6.24. Teor de mentol

As tendências de variação do teor de mentol no óleo essencial de *Mentha piperita* L., submetida aos diferentes níveis de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio nas várias colheitas, podem ser observadas na Figura 29.

De maneira geral, observa-se tendência de maior teor de mentol na 1ª colheita, aos 69 DAT, independentemente do tratamento a que a espécie foi submetida. No entanto, deve ser ressaltado, que nessa fase o rendimento de óleo foi menor, o que pode não justificar a colheita mais precoce para extração do óleo essencial, embora o constituinte que lhe assegura qualidade seja o mentol.

O mentol constitui mais de 40% do total de óleo essencial e é o componente responsável pelas características aromatizantes e sensação de refrescância da *Mentha piperita* L. isômeros de mentol são encontrados como ésteres acetato, formado pela ação da acetil-CoA dependente da acetiltransferase. O conteúdo de mentol e acetato de mentila nos óleos de *Mentha piperita* L. aumenta com a maturidade das folhas. Fatores ambientais influenciam a composição do óleo DEY e HARBORNE (1997) e CROTEAU et al. (2000).

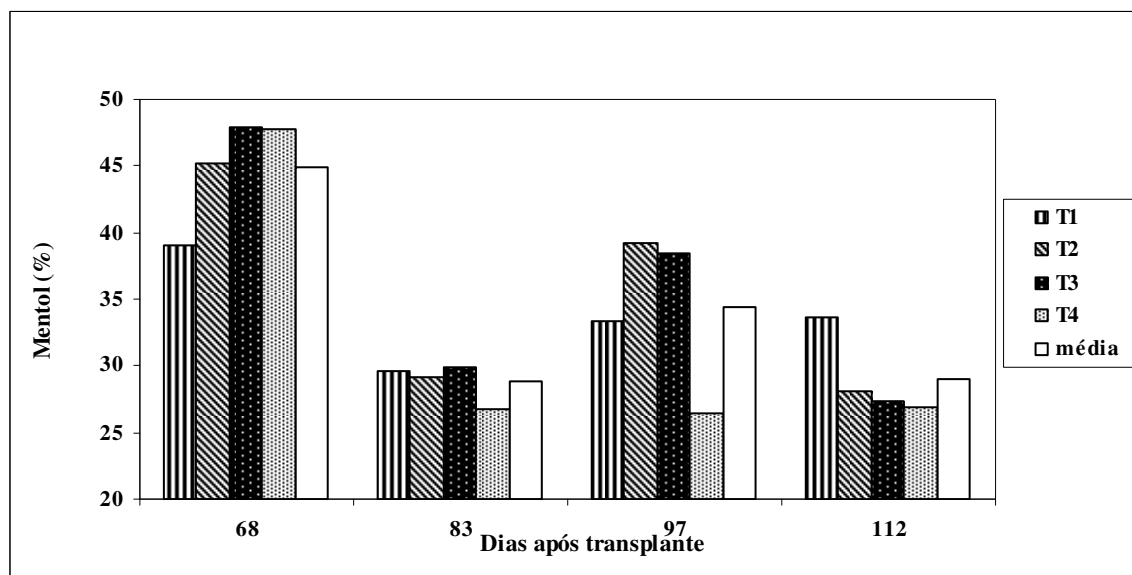
Aos 98 DAT as plantas cultivadas com 50% de N, P, K e Mg e 65% de N, 50% de P, 25% de K e 100% de Mg apresentaram maior teor de mentol e em média durante o ciclo, as cultivadas com 65% de N, 50% de P, 25% de K e 100% de Mg apresentaram tendência de maior teor de mentol (Tabela 29), o que confirma uma vez mais que esse tratamento mostrou-se adequado para o crescimento e a produção de óleo essencial da *Mentha piperita* L.

Leal (2002), Valmorbidia (2003) e David (2007) ao avaliarem *Mentha piperita* L. com diferentes níveis de N, K e P, respectivamente, observaram maiores teores de mentol nas plantas cultivadas com 100% de N e com decréscimo respectivamente de 75%, de K e 50% de P. Zheljzakov & Margina (1996) referem que o incremento na fertilização, em cultivares de *Mentha piperita* L., não aumentou o teor de mentol nas várias colheitas, que se manteve em torno de 60%. No entanto, Jeliaskova et al ao estudarem a influência do N, P e K em cultivares de hortelã pimenta, verificaram que o aumento dos nutrientes elevou o conteúdo de mentol no óleo essencial da cultivar Zefir. Os resultados encontrados na literatura consultada e também os do presente estudo demonstram influência da nutrição mineral na produção e composição do óleo essencial de *Mentha piperita* L.

**Tabela 29.** Análise de variância e comparação entre médias de mentol (%) no óleo essencial de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005.

<b>Análise de variância (Teste F)</b>					
Níveis de N, P, K e Mg	Colheita	Interação Colheita x Níveis de N, P, K e Mg			
0,91	17,05*	1,31			
* significância ao nível de 5%					
<b>Comparação entre médias (Teste Tukey)</b>					
Níveis N/ P/ K/ Mg em relação à solução completa	Colheita (Dias após transplante)				
	1 <sup>a</sup> (69)	2 <sup>a</sup> (84)	3 <sup>a</sup> (98)	4 <sup>a</sup> (113)	Média níveis de N/P/K/Mg
<b>50% N, P, K e 25% Mg</b>	38,988a	29,672	33,310ab	33,700	<b>33,918</b>
<b>50% N, P, K e Mg</b>	44,848	29,082	39,252a	28,087	<b>35,318</b>
<b>65 % N, 50% P, 25% K, 100% Mg</b>	47,842	29,880	38,425a	27,377	<b>35,881</b>
<b>100% N, P, K e Mg</b>	47,817	26,815	26,472b	26,852	<b>31,989</b>
<b>Média das colheitas</b>	<b>44,874</b>	<b>28,863</b>	<b>34,365</b>	<b>29,004</b>	<b>34,276</b>

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade. Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de KNO<sub>3</sub>.



**Figura 29.** Teor de mentol de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de N, P, K e Mg em mg L<sup>-1</sup>, nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. Valores médios ajustados pela equação polinomial cúbica. Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de KNO<sub>3</sub>.

T1 (50% N, P, K e 25% Mg) - 94,0/15,5/107,5/12,15 de N/P/K/Mg, mg L<sup>-1</sup>

T2 (50% N, P, K e Mg) - 94,0/15,5/107,5/24,3 de N/P/K/Mg, mg L<sup>-1</sup>

T3 (65 % N, 50% P, 25% K, 100% Mg) - 124,0/15,5/53,6/48,6 de N/P/K/Mg, mg L<sup>-1</sup>

T4 (100% N, P, K e Mg) - 189,0/31,0/214,5/48,6 de N/P/K/Mg, mg L<sup>-1</sup>

### 6.25. Teor de mentona

As tendências de variação do teor de mentona no óleo essencial de *Mentha piperita* L., submetida aos diferentes níveis de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio nas várias colheitas, podem ser observadas na Figura 30.

A Figura 30 e a Tabela 30 demonstram, que independente do tratamento a que a *Mentha piperita* L. foi submetida o teor de mentona tendeu a diminuir com o desenvolvimento. Esses resultados estão de acordo com os de Lima e Mollam (1952) e Leal (2001) que ao cultivarem *Mentha arvensis* IAC-701 e *Mentha piperita* L, respectivamente, verificaram que o teor de mentona diminuiu de maneira constante à medida que a planta amadureceu.

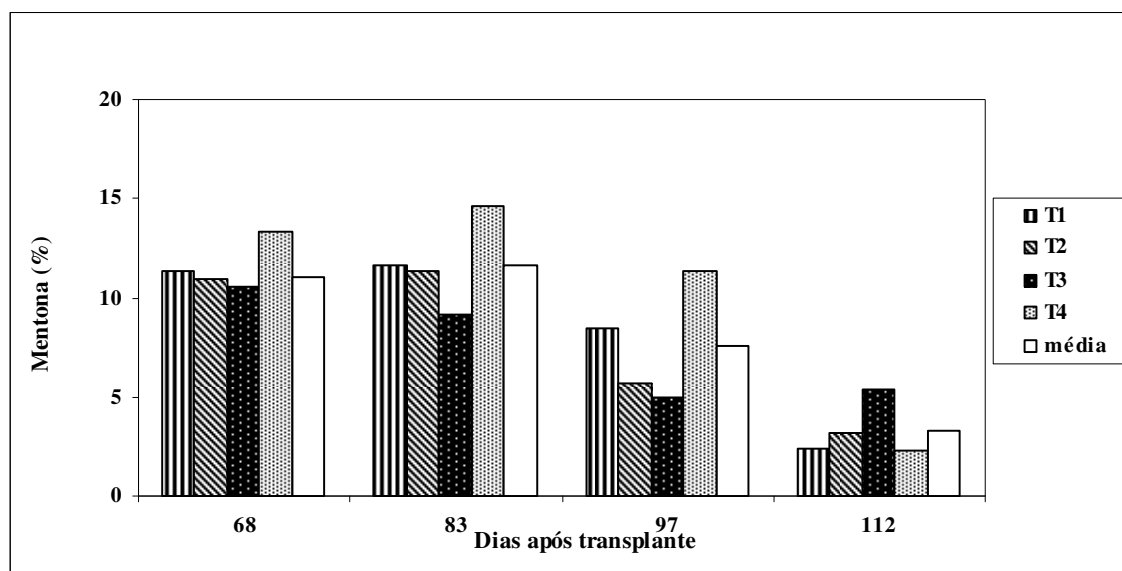
Segundo Dey e Harborne (1997) e Croteau et al. (2000) os componentes principais e característicos do óleo essencial de *Mentha piperita* L. são produzidos por transformações enzimáticas secundárias do limoneno, que se forma a partir de ciclizações do geranyl-difosfato. Nessa espécie, no citocromo P450, a enzima limoneno-3-hidroxilase introduz um átomo de oxigênio para produzir trans-isopiperitenol. Um NADP<sup>+</sup> desoxihidrogenase oxida um álcool para cetona formando isopiperitenona, ativando NADPH-dependente, produzindo cis-isopulegona, que por conjugação com um grupo carbonil forma pulegona, que é convertida em isomentol ou mentona. Redutases similares produzem isômeros a partir dessas cetonas. Por meio da enzima mentona redutase a mentona é reduzida em mentol e neomentol (Turner et al, 2000). Dessa forma quando o óleo essencial apresenta alto teor de mentona significa que não ocorreu a sua transformação em mentol.

A Tabela 30 revela que aos 98 DAT, as plantas nutridas com solução completa apresentaram maior teor de mentona em relação às cultivadas com 65% de N, 50% de P, 25% de K e 100% de Mg e 50% de N, P, K e Mg. Nessa fase, o teor de mentol foi menor nas plantas submetidas à solução completa e maior nos dois outros grupos, o que confirma a seqüência da rota metabólica dos monoterpenos, acima citada. Os resultados do presente estudo concordam com os de David (2007) que observou maior teor de mentona na *Mentha piperita* L. cultivada com a solução nutritiva completa.

**Tabela 30.** Análise de variância e comparação entre médias de mentona (%) no óleo essencial de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005.

Análise de variância (Teste F)					
Níveis de N, P, K e Mg	Colheita	Interação Colheita x Níveis de N, P, K e Mg			
1,23	21,73*	1,20			
* significância ao nível de 5%					
Comparação entre médias (Teste Tukey)					
Níveis N/ P/ K/ Mg em relação à solução completa	Colheita (Dias após transplante)				
	1 <sup>a</sup> (69)	2 <sup>a</sup> (84)	3 <sup>a</sup> (98)	4 <sup>a</sup> (113)	Média níveis de N/P/K/Mg
50% N, P, K e 25% Mg	11,295	11,657	8,465ab	2,365	8,446
50% N, P, K e Mg	10,970	11,310	5,630bc	3,182	7,773
65 % N, 50% P, 25% K, 100% Mg	10,585	9,105	4,927c	5,375	7,498
100% N, P, K e Mg	13,305	14,592	11,312a	2,270	10,370
<b>Média das colheitas</b>	<b>11,539</b>	<b>11,666</b>	<b>7,584</b>	<b>3,298</b>	<b>8,522</b>

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade. Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de  $KNO_3$ .



**Figura 30.** Teor de mentona de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de N, P, K e Mg em  $mg L^{-1}$ , nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. Valores médios ajustados pela equação polinomial quadrática. Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de  $KNO_3$ .

T1 (50% N, P, K e 25% Mg) - 94,0/15,5/107,5/12,15 de N/P/K/Mg,  $mg L^{-1}$

T2 (50% N, P, K e Mg) - 94,0/15,5/107,5/24,3 de N/P/K/Mg,  $mg L^{-1}$

T3 (65 % N, 50% P, 25% K, 100% Mg) - 124,0/15,5/53,6/48,6 de N/P/K/Mg,  $mg L^{-1}$

T4 (100% N, P, K e Mg) - 189,0/31,0/214,5/48,6 de N/P/K/Mg,  $mg L^{-1}$



## 6.26. Teor de mentofurano

As tendências de variação do teor de mentofurano no óleo essencial de *Mentha piperita* L., submetida aos diferentes níveis de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio nas várias colheitas, podem ser observadas na Figura 31.

Grahle e Holtzel (1963) registraram que na rota metabólica dos óleos essenciais, a pulegona pode formar a mentona, que por sua vez pode formar o mentol, que pode formar o acetato de mentila. No entanto, a pulegona pode também formar mentofurano em uma rota alternativa. Grahle & Holtzel (1963) registram que a biossíntese dos monoterpenos é afetada pelo fotoperíodo e dias curtos podem ser responsáveis pelo elevado conteúdo de mentofurano. Piccaglia et al. (1993) avaliaram a influência de fatores agronômicos sobre o rendimento e a composição de óleo essencial de hortelã pimenta e verificaram que plantas com dois anos apresentaram maior teor de mentofurano e  $\beta$ -cariofileno.

Na Tabela 31 pode ser observado que as plantas submetidas a 65 % N, 50% P, 25% K, 100% Mg apresentaram discreta tendência em média, durante o ciclo, de menores teores de mentofurano e maiores de mentol (Tabela 29) como era de se esperar, considerando-se a rota metabólica.

Leal (2002), Valmorbida (2003) e David (2007) ao avaliarem *Mentha piperita* L. com diferentes níveis de N, K e K, respectivamente, observaram maiores teores de mentofurano quando as plantas foram cultivadas com solução nutritiva de Hoagland e Arnon acrescida de 25% de N, decrescida de 75% de K e acrescida de 50% de P, o que discorda, em parte, do presente estudo, pois o maior teor de mentofurano foi encontrado quando as plantas foram cultivadas com 50% de N, P e K. Cumpre-se registrar que, nos estudos acima mencionados a variação de apenas um nutriente foi avaliada, enquanto, no presente estudo foram estudadas as variações de três deles no tratamento com 50% de N, P e K simultaneamente.

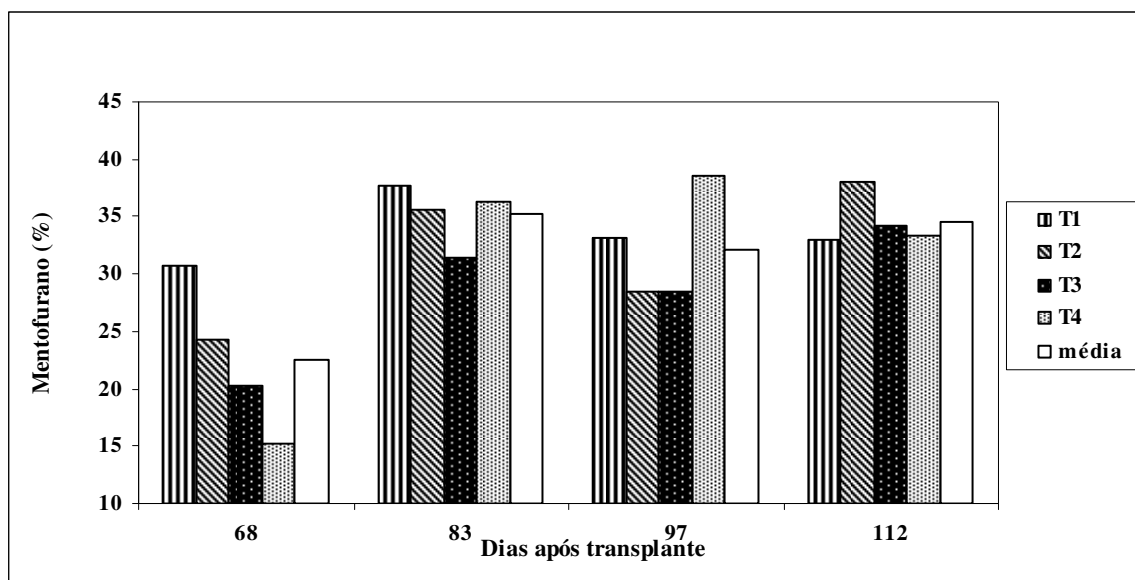
**Tabela 31.** Análise de variância e comparação entre médias de mentofurano (%) no óleo essencial de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005.

Análise de variância (Teste F)		
Níveis de N, P, K e Mg	Colheita	Interação Colheita x Níveis de N, P, K e Mg
1,17	9,48*	1,41

\* significância ao nível de 5%

Comparação entre médias (Teste Tukey)					
Níveis N/ P/ K/ Mg em relação à solução completa	Colheita (Dias após transplante)				
	1 <sup>a</sup> (69)	2 <sup>a</sup> (84)	3 <sup>a</sup> (98)	4 <sup>a</sup> (113)	Média níveis de N/P/K/Mg
50% N, P, K e 25% Mg	30,712	37,632	33,205	32,905	33,614
50% N, P, K e Mg	23,987	35,552	28,432	38,066	31,510
65 % N, 50% P, 25% K, 100% Mg	20,312	31,430	28,390	34,235	28,592
100% N, P, K e Mg	15,160	36,280	38,572	33,352	30,841
<b>Média das colheitas</b>	<b>22,543</b>	<b>35,224</b>	<b>32,150</b>	<b>34,640</b>	<b>31,139</b>

Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de KNO<sub>3</sub>.



**Figura 31.** Teor de mentofurano de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de N, P, K e Mg em mg L<sup>-1</sup>, nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. Valores médios ajustados pela equação polinomial cúbica. Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de KNO<sub>3</sub>.

T1 (50% N, P, K e 25% Mg) - 94,0/15,5/107,5/12,15 de N/P/K/Mg, mg L<sup>-1</sup>

T2 (50% N, P, K e Mg) - 94,0/15,5/107,5/24,3 de N/P/K/Mg, mg L<sup>-1</sup>

T3 (65 % N, 50% P, 25% K, 100% Mg) - 124,0/15,5/53,6/48,6 de N/P/K/Mg, mg L<sup>-1</sup>

T4 (100% N, P, K e Mg) - 189,0/31,0/214,5/48,6 de N/P/K/Mg, mg L<sup>-1</sup>

### 6.27. Teor de acetato de mentila

A variação do teor de acetato de mentila no óleo essencial de *Mentha piperita* L., submetida aos diferentes níveis de nitrogênio, fósforo, potássio e Mg nas várias colheitas, pode ser observada na Figura 32.

No presente estudo houve tendência de aumento do teor de acetato de mentila durante o ciclo da cultura. Esses resultados são concordantes com os verificados por Piccaglia et al. (1993) que ao avaliarem a influência de fatores agronômicos sobre o rendimento e a composição de óleo essencial em hortelã pimenta, registraram que com a idade da cultura, os óleos essenciais do segundo corte quando comparados aos do primeiro mostram um incremento de acetato de mentila de 3,3 para 15,2 %, e com os de David (2006) que observou tendência de aumento de acetato de mentila ao longo do ciclo da *Mentha piperita* L.

Os resultados do presente estudo discordam daqueles observados por Leal (2001) e Valmorbida (2003), para *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com variação dos níveis de N e K, respectivamente, condições em que observaram diminuição dos teores de acetato de mentila com a idade da planta. Uma vez mais, deve ser registrado que as condições de cultivo podem ser responsáveis por variações no rendimento e composição do óleo essencial.

O teor de acetato de mentila, durante o ciclo de desenvolvimento apresentou-se maior nas plantas cultivadas com 65% de N, 50% de P, 25% de K e 100% de Mg (Tabela 32). Durante a síntese do óleo essencial da *Mentha piperita* L ocorre a conversão do mentol em acetato de mentila, na rota metabólica, tal fato pode explicar que a medida que diminui o teor de mentol durante o ciclo de desenvolvimento (Tabela 29 ), aumenta o teor de acetato de mentila nessas plantas (Tabela 32).

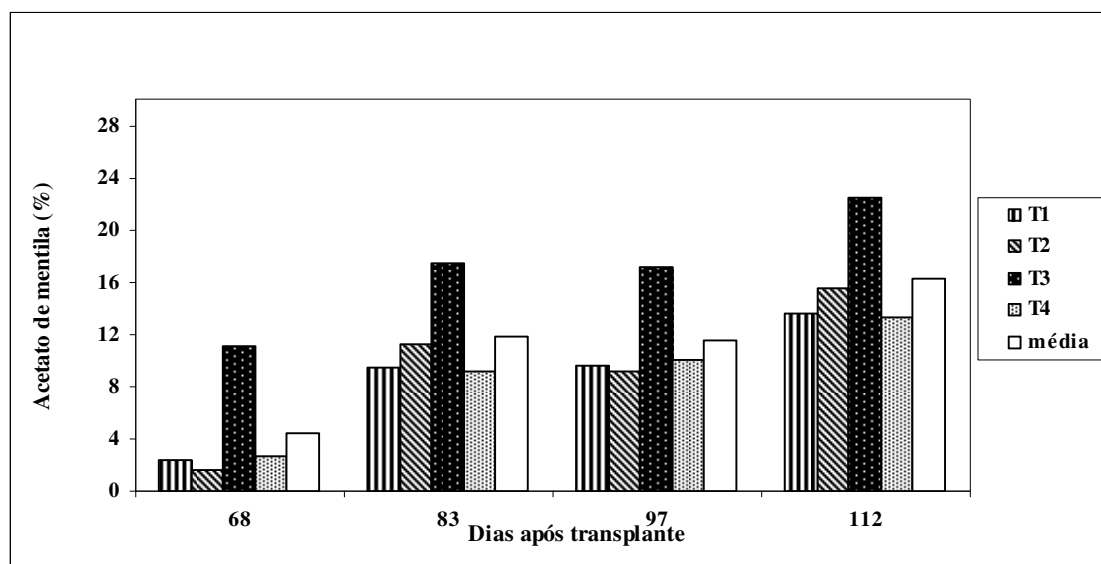
**Tabela 32.** Análise de variância e comparação entre médias de acetato de mentila (%) no óleo essencial de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005.

Análise de variância (Teste F)		
Níveis de N, P, K e Mg	Colheita	Interação Colheita x Níveis de N, P, K e Mg
11,86*	16,56*	0,13

\* significância ao nível de 5%

Comparação entre médias (Teste Tukey)					
Níveis N/ P/ K/ Mg em relação à solução completa	Colheita (Dias após transplante)				
	1 <sup>a</sup> (69)	2 <sup>a</sup> (84)	3 <sup>a</sup> (98)	4 <sup>a</sup> (113)	Média níveis de N/P/K/Mg
50% N, P, K e 25% Mg	2,300	9,425	9,555	13,592	8,718b
50% N, P, K e Mg	1,570	11,250	9,135	15,482	9,360b
65 % N, 50% P, 25% K, 100% Mg	11,147	17,432	17,160	22,512	17,063a
100% N, P, K e Mg	2,657	9,185	10,040	13,285	8,791b
<b>Média das colheitas</b>	<b>4,418</b>	<b>11,823</b>	<b>11,472</b>	<b>16,218</b>	<b>10,983</b>

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade. Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de KNO<sub>3</sub>.



**Figura 32.** Teor de acetato de mentila de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de N, P, K e Mg em mg L<sup>-1</sup>, nas várias colheitas, realizadas entre abril e julho de 2005. Valores ajustados pela equação linear. Na data do transplante as mudas tinham 10 dias, a partir do estabelecimento das estacas em solução de KNO<sub>3</sub>.

T1 (50% N, P, K e 25% Mg) - 94,0/15,5/107,5/12,15 de N/P/K/Mg, mg L<sup>-1</sup>

T2 (50% N, P, K e Mg) - 94,0/15,5/107,5/24,3 de N/P/K/Mg, mg L<sup>-1</sup>

T3 (65 % N, 50% P, 25% K, 100% Mg) - 124,0/15,5/53,6/48,6 de N/P/K/Mg, mg L<sup>-1</sup>

T4 (100% N, P, K e Mg) - 189,0/31,0/214,5/48,6 de N/P/K/Mg, mg L<sup>-1</sup>

## 6.28. Teor de macro e micronutrientes

Os teores médios de macro e micronutrientes nas lâminas foliares e nos caules e pecíolos de *Mentha piperita* L., submetida aos diferentes níveis de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio, entre as várias colheitas podem ser observados nas Tabela 33 e 34.

As plantas cultivadas com 63% de N, 50% de P, 25% de K e 100% de Mg, apresentaram menor teor de potássio nas lâminas foliares e caules e pecíolos em relação às plantas nutridas com 100% de N, P, K e Mg (tabela 33), resultado esperado uma vez que esse tratamento apresentava menor nível de potássio. Essas plantas apresentaram maior teor de magnésio nesses órgãos. É possível que a diminuição da absorção de potássio tenha resultado em aumento da de magnésio, caracterizando a inibição competitiva entre esses dois íons (MARSCHENER, 1995). Quando o potássio foi reduzido em 50%, nos tratamentos que continham 50% de N, P K e 25% de Mg e 50% de N, P, K e Mg, não houve diferença de absorção desse nutriente em relação à solução completa, mas o magnésio encontrou-se nas lâminas foliares das plantas nutridas com 25% deste íon, em menor teor (Tabela 33 e 34).

As plantas cultivadas com 50% de N, P, K e Mg e 63% de N, 50% de P, 25% de K e 100% de Mg, apresentaram menor teor de enxofre nos caules e pecíolos (Tabela 34). Apesar do enxofre não ter sido reduzido em nenhum tratamento, essa diferença pode ter sido consequência de interações entre os nutrientes.

As plantas cultivadas com 63% N, 50% P, 25% K e 100% Mg e com 50% de N, P, K e Mg apresentaram maior teor de manganês nas lâminas foliares, e as nutridas com 50% N, P, K e 25% Mg apresentaram, nesses órgãos maiores teores de ferro (Tabelas 33 e 34).

**Tabela 33.** Comparação de médias de teores médios de macro e micronutrientes determinados em lâminas foliares de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio, entre as várias colheitas, realizadas de abril a julho de 2005.

Elementos	Níveis de N/ P/ K/ Mg em relação à solução completa			
	50% N, P, K e 25% Mg	50% N, P, K e Mg	63% N, 50% P, 25% K e 100% Mg	100% N, P, K e Mg
<b>Macronutrientes</b>				
Nitrogênio	42,77ab	43,33ab	34,93ab	28,80b
Fósforo	7,43a	6,76a	6,47a	7,94a
Potássio	31,06a	29,30ab	22,57b	32,04a
Magnésio	4,27c	5,09bc	7,96a	5,71b
Cálcio	13,04a	14,62a	15,78a	14,96a
Enxofre	3,26a	3,36a	3,08a	3,28a
<b>Micronutrientes</b>				
Manganês	59,00ab	52,00a	69,25a	57,00b
Cobre	95,62a	102,00a	99,38a	89,87a
Ferro	172,04a	159,37ab	141,75b	134,75b
Zinco	95,62a	102,00a	99,37a	89,87a

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade.

**Tabela 34.** Comparação de médias de teores de macro e micro nutrientes determinados em caules e pecíolos de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio, entre as várias colheitas, realizadas de abril a julho de 2005.

Elementos	Níveis de N/ P/ K/ Mg em relação à solução completa			
	50% N, P, K e 25% Mg	50% N, P, K e Mg	63% N, 50% P, 25% K e 100% Mg	100% N, P, K e Mg
<b>Macronutrientes</b>				
Nitrogênio	23,78a	23,40a	23,24a	23,89a
Fósforo	5,01a	5,16a	4,80a	5,76a
Potássio	29,82ab	33,03a	23,91b	35,24a
Magnésio	2,83b	2,69bc	3,60a	2,78c
Cálcio	11,49a	11,26a	10,42a	10,83a
Enxofre	0,97b	1,03ab	0,99b	1,20a
<b>Micronutrientes</b>				
Manganês	36,42ab	32,37b	46,25a	39,37ab
Cobre	88,79ab	89,50a	79,62b	87,00ab
Ferro	90,12a	50,50a	66,25a	76,75a
Zinco	89,91a	89,50a	79,62b	87,00ab

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade.

T1 (50% N, P, K e 25% Mg) - 94,0/15,5/107,5/12,15 de N/P/K/Mg, mg L<sup>-1</sup>

T2 (50% N, P, K e Mg) - 94,0/15,5/107,5/24,3 de N/P/K/Mg, mg L<sup>-1</sup>

T3 (65% N, 50% P, 25% K, 100% Mg) - 124,0/15,5/53,6/48,6 de N/P/K/Mg, mg L<sup>-1</sup>

T4 (100% N, P, K e Mg) - 189,0/31,0/214,5/48,6 de N/P/K/Mg, mg L<sup>-1</sup>

## 7. Considerações Finais

O cultivo em solução nutritiva demonstrou favorecer o desenvolvimento da cultura e as plantas a ele submetidas produziram folhas maiores, com maior incremento de massa verde, que, no entanto, não lhe assegura qualidade na obtenção da matéria prima para a indústria brasileira, uma vez que outros fatores como a época de cultivo e a quantidade e relação entre os minerais interferem no produto.

Para a obtenção de produto de melhor qualidade, a solução nutritiva nº2 de Hoagland & Arnon (1950), com modificações que proporcionassem variação da concentração e da relação entre os macronutrientes, N, P, K e Mg foi utilizada para o cultivo da *Mentha piperita* L., estabelecendo-se dessa forma uma solução mais adequada para o cultivo da espécie. Considerando que a solução nutritiva nº 2 super estima as concentrações dos macronutrientes, as modificações foram realizadas e com a diminuição de N, P, K e Mg, não ocorreram sinais de deficiência nas plantas.

A diminuição em 50 e 75% de magnésio na solução, nos tratamentos com 50% de N, P, K e 25% de Mg e 50% de N, P, K e Mg, resultou em plantas com tendência de menor comprimento de parte aérea, massa seca dos diferentes órgãos e área foliar. Por

outro lado, essas plantas apresentaram assimilação e concentração interna de CO<sub>2</sub> com tendência de ser maior ao longo do ciclo. Este resultado sugere que, mesmo em menor nível, o magnésio foi suficiente, não interferindo com o processo de fotossíntese. Assim, apesar do acúmulo da concentração intercelular de CO<sub>2</sub>, a máxima assimilação foi indicativo de que a carboxilação estava próxima à saturação. Essas plantas apresentaram em média maior transpiração e as reduções de N, P, K e Mg na solução nutritiva não alteraram a eficiência de carboxilação da enzima Rubisco. Em nenhum tratamento avaliado.

Os índices fisiológicos das plantas submetidas aos diferentes tratamentos revelaram algumas alterações.

As plantas cultivadas com a solução nutritiva completa, 100% N, P, K e Mg, apresentaram maior taxa assimilatória líquida (TAL), até 35 dias após transplante (DAT), menor área foliar específica (AFE) no início do ciclo e taxa de crescimento relativo (TCR), de modo geral semelhante ao das plantas cultivadas com os demais tratamentos.

As plantas nutridas com 50% de N, P, K e Mg apresentaram maior razão de área foliar (RAF) e menor taxa assimilatória líquida (TAL), o que resultou em taxa de crescimento relativo (TCR) igual aos das plantas submetidas aos demais tratamentos.

As plantas submetidas a 65% de N, 50% de P, 25% de K e 100% de Mg apresentaram tendência de maior comprimento de parte aérea, massa seca dos diferentes órgãos, área foliar e rendimento de óleo essencial. Os componentes majoritários encontrados no óleo foram mentol, mentona, mentofurano, neomentol e acetato de mentila. Na primeira colheita, realizada aos 69 DAT, as plantas apresentaram maiores teores dos componentes majoritários, sendo, essa, portanto, a melhor época para a extração de óleo essencial da *Mentha piperita* L. Deve ser registrada a tendência de maior rendimento de óleo na terceira colheita, (98 DAT), que, no entanto, talvez não justifique manter a espécie por mais tempo no campo, o que além de resultar em maior custo de produção, poderia tornar a planta susceptível a outros problemas que poderiam resultar em menor qualidade do óleo obtido. Assim, nessas plantas, a diminuição de N, P, K e Mg não prejudicaram as funções fisiológicas da *Mentha piperita* L., tendo sido satisfatório para o desenvolvimento do vegetal e a produção e qualidade de seu óleo essencial.

Deve ser ressaltado ainda que esse tratamento com 65% de N, 50% de P, 25% de K e 100% de Mg foi definido com base nos estudos de Leal (2001), Valmorbida



(2003) e David et al. (2006 e 2007), que avaliaram o desenvolvimento da *Mentha piperita* L. submetida respectivamente à variação de N, K e P. O melhor nível de cada um dos nutrientes nos respectivos trabalhos, acima registrados, foi utilizado para a sua composição com variação de N, P e K e manutenção de Mg, em nível completo.

Considerando a importância dos nutrientes minerais nos mecanismos fisiológicos dos vegetais, os poucos estudos que relacionam atividade fotossintética com produtividade das espécies e a relevante importância econômica do óleo essencial no mercado nacional e internacional, o presente estudo poderá subsidiar alternativa ao cultivo tradicional, otimizando a produtividade vegetal de *Mentha piperita* L., garantindo a produção e a qualidade de seu óleo essencial.

Por fim, nas condições em que o experimento foi realizado, pode-se sugerir a solução nutritiva com 65% de N, 50% de P, 25% de K e 100% de Mg como a mais adequada para o cultivo da *Mentha piperita* L.

## 8. Conclusões

O presente estudo realizado com *Mentha piperita* L., cultivada em solução nutritiva com variação dos níveis de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio permite concluir que:

1. As variações dos nutrientes, nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio na solução nutritiva influenciaram o desenvolvimento da espécie.
2. O rendimento e a composição do óleo essencial da *Mentha piperita* L. foram alterados com as variações dos nutrientes aos quais as plantas foram submetidas.
3. Com base nas respostas da *Mentha piperita* L. aos diferentes níveis de N, P, K e Mg, sugere-se a solução contendo 65% de N, 50% de P, 25% de K e 100% de Mg, como adequada para seu cultivo.

## 9. Referências Bibliográficas

ADAMS, R.P. **Identification of essential oil components by gas chromatography/mass spectroscopy**. Illinois, USA: Allured Publishing Corporation, 2001. 468 p.

ARAÚJO, M.P. **Contribuição ao estudo das propriedades físico-químicas do óleo da *Mentha arvensis* cultivada no Paraná** 1966. 98 f. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Paraná, 1966, Curitiba.

AJAY, O.; MAYNARD, D. N.; BARKER, A. V. The effects of potassium on ammonium nutrition of tomato. **Agronomy Journal**, Madison, v. 62, p. 818-821. 1970.

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

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

BERGMANN, W. **Nutrition disorders of plants: development, visual and analytical diagnosis**. New York: Gustav Fischer Verlag Jena, 1992. p. 117-118.

BOARO, C.S.F. **Desenvolvimento de feijoeiros (*Phaseolus vulgaris*) em solução nutritiva com variação dos níveis de Mg e da relação entre macronutrientes, durante o ciclo**. 2001.

172 f. Tese (Livre Docência/Fisiologia Vegetal) – Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

BOX, M. M. **Cultivo de plantas medicinalis**. 2.ed. Vol.1. Madrid: Publicaciones de Extension Agrária, 1973. 490 p.

BUENO, M. A. S. **Desenvolvimento, rendimento e composição de óleo essencial de tomilho *Thymus vulgaris* L. (Lamiaceae), cultivado em solução nutritiva com diferentes níveis de fósforo**. 2004. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Instituto de Biociências, UNESP. Botucatu, 2004.

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

CASTRO, H.G. de et al. **Contribuição ao estudo das plantas medicinais**. Viçosa: Suprema, 2001. 103 p.

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

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.

CLAASSEN, M. E.; WILCOX, G. E. comparative reduction of calcium and magnesium compositin of corn tissue by NH<sub>4</sub>-N and potassium fertilization. **Agronomy Journal**, Madison, v. 66, p. 521-522, 1974.

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.

CORRÊA JÚNIOR, C.; MING, L.C.; SCHEFFER, M.C. A importância do cultivo de plantas medicinais, aromáticas e condimentares. **SOB Informa**, v. 9-10, n. 1-2, p. 23-24, 1991.

CROTEAU, R.; GERSHENZON J.; TURNER, W. G. (2000). Development of peltate glandular trichomes of peppermint. *Plant Physiology*. 124: 665-679.

CROTEAU, R.; KUTCHAN, T.M.; LEWIS, N.G. Natural products (secondary metabolites). In: BUCHANAN, B.B.; GRUISSEM, W.; JONES, R.J. **Biochemistry & molecular biology of plants**. Rockville: Courier Companies, 2000. p. 1250-1318.

- DAVID, E. F. S. **Níveis de fósforo no desenvolvimento e produção de óleo essencial de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva.** 2004. 159 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Horticultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, UNESP. Botucatu, 2004.
- DAVID, E. F. S.; BOARO, C. S. F.; MARQUES, M O. M. Rendimento e composição do óleo essencial de *Mentha piperita* L., cultivada em solução nutritiva com diferentes níveis de fósforo. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, 4 (8), 183-188. 2006.
- DAVID, E. F. S.; BOARO, C. S. F.; MARQUES, M O. Desenvolvimento e rendimento de óleo essencial de menta (*Mentha x piperita* L.) cultivada em solução nutritiva com diferentes níveis de fósforo. **Biotemas**, 20 (2):15-26, Junho de 2007.
- DEY, P.M.; HARBORNE, J.B. **Plant biochemistry.** San Diego: Academic Press, 554 p, 1997.
- DIBB, D. W.; THOMPSON, JUNIOR, W. R. Interaction of potassium with other nutrients. **In:** Munson, r. d. (Ed.). **Potassium in agriculture.** Madison: ASA, CSSA, SSSA, 1985. p. 515-533.
- FAHN, A., 1979. **Secretary tissue in Plants**, Academic Press, London.
- ELLIS, N.K. Relation of yield of oil from peppermint (*Mentha piperita*) and free menthol content of the oil. **Journal of the American Society of Horticulture**, New York, v. 54, 1944, p. 451-454.
- EPSTEIN, E. BLOOM, A. 2006. Nitrogênio e Enxofre: Uma História de Dois Nutrientes. **In: Nutrição Mineral de Plantas: Princípios e Perspectiva.** Editora Planta, Londrina, Brasil, p.169-201.
- ERICSSON, T., RYTTER, L. VAPAAVOURI, E.: Physiology of carbon allocation in trees. **Biomass Bioenergy**. 11: 115-127, 1996.
- EVANS, J. R. Photosynthesis and nitrogen relationships in leaves of C3 plants. **Oecologia**. 78:9-19. 1989.
- EVANS, J. R., SEEMANN, J. R. The allocation of protein nitrogen in the photosynthetic apparatus: cost, consequences, and control. **IN: Briggs WR (ed) Photosynthesis.** Liss New York, pp. 183-205. 1989.
- FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C. JONES, C. A. **Field Crops and mineral nutrition.** In... Growth and mineral nutrition of field crops. 2<sup>nd</sup> edition, revised and expanded. Printed in the United States of American. P. 1-10. 1997.
- FAHN, A. **Secretary tissues in plants.** London: Academic Press, 1979. p. 158-222.
- FARQUHAR, G.D.; SHARKEY, T.D. Stomatal conductance and photosynthesis. **Annual Review of Plant Physiology**, v. 33, p. 317-345, 1982.
- FIELD, C. MOONEY, H. A. The photosynthesis-nitrogen relationship in wild plants. **In:** Givnish TJ (ed) On economy of plant form and function. Cambridge University Press,

Cambridge, pp. 25-55. 1986.

FURLAN, M.R. **Efeito da adubação com N-P2O5-K2O sobre a biomassa, o rendimento e a composição do óleo essencial de *Ocimum basilicum* L. Cultivar Genovese.** 2000. 172 p. Tese (Doutorado em Agronomia) Faculdade de Ciências Agrônômicas- FCA-UNESP, Botucatu, 2000.

GAMA, M. V. Efeitos do azoto e do potássio na composição mineral do trigo “Impeto” e do tomate “Roma”. **Agron. Lusit.**, v. 38, p. 11-121, 1977.

GERSHENZON, J. McCONKEY, M. CROTEAU, R. (2000). Regulation of monoterpene accumulation in leaves of peppermint (*Mentha x piperita* L.). **Plant physiology**. 122: 205-213.

GODDE, D. DANNEHL, H. Stress-induced chlorosis and increase in D1-protein turnover precede photoinhibition in spinach suffering under magnesium/sulfur deficiency. **Planta**. (1994), 195: 291-300

GOLDBERG, A. Magnesium binding by *Escherichia coli* ribosomes. **Journal Molecular Biologic**, v. 15, p. 663-73, 1966.

GOTTLIEB, O. R. Evolução e função de óleos essenciais. In: SIMPÓSIO DE ÓLEOS ESSENCIAIS, 1., 1985, São Paulo. **Anais ...** São Paulo: Universidade de São Paulo, 1985. p.175-191.

GRAHLE, A. HOELTZEL, C. Photoperiodische abhangigkeit der bildung des atherischen ols bei *Mentha piperita* L. **Naturwissenschaften**. V. 50, p. 552, 1963

GUPTA, R., 1991. **Agrotechnology of Medicinal Plants**. In: “The Medicinal Plant Industry”. Wijessekera R. O. B. ed. CRC Press. 43-57.

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

HABERMANN, G. **Trocas gasosas e relações hídricas em laranja-doce (*Citrus sinensis* L. Osbeck cv. Pêra) com clorose variegada dos citros (CVC).** 1999. 79 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas/Botânica) – Instituto de Biociências, UNESP. Botucatu, 1999.

HEATHCOTE, R. C. **Fertilization with potassium in the Savanna zone of Nigeria.** Bern; Potash and Phosphate Institute, 1972. (Potash Review, Subject 16, 57 th suite).

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, 1950. 32 p.
- INSTITUTO CAMPINEIRO DE ENSINO AGRÍCOLA. **Principais culturas** – II. Campinas, 1981. 400 p.
- JAKOBS, B. M. Magnesium deficiency treatment causes reductions in photosynthesis of well-nourished Norway spruce. **Tree**. V. 10: 293-300. 1996.
- JELIAZKOVA, E. A. *et al.* NPK fertilizer and yields of peppermint, *Mentha x Piperita*. **Acta Horticulturae**. n. 502. p. 231-236. 1999.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: RiMa, 2006. 550p.
- LAWLOR, D.W. The chemistry of photosynthesis. **IN: Photosynthesis: Molecular, Physiological and Environmental Processes**. 2nd. ed. Hong Kong, 1993.
- LAWRENCE, B.M. 1985. **A Review of the World production of Essencial oils (1984)**, Perfumer and Flavorist. Reported in Newsletter, v. 10,76.
- LEAL, F. P. **Desenvolvimento, produção e composição de óleo essencial da *Mentha piperita* L., cultivada em solução nutritiva com diferentes níveis de nitrogênio**. 2001. 148 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Horticultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, Botucatu, 2001.
- LEHNINGER, A. L. **Lehninger princípios básicos da bioquímica** (David, L. Nelson, Michael, M. Cox). 3 ed. –São Paulo: Sarvier, 2002. cap. 8, p. 189-222.
- LEIGH, R. A., WYN JONES, R.G. Cellular compartmentation in plant nutrition: the selective cytoplasm and the promiscuous vacuole. In: TINKER, B., LAUCHLI, A. **Advances in plant nutrition**. New York: Praeger Scientific, 1986. cap. 2. p. 249-279.
- LIMA, A. R.; MOLLAN, T. R. M. Nova variedade de *Mentha arvensis* L. **Bragantia**, Campinas, v. 12, p. 277-284. 1952.
- LIMA, J. D.; MOSQUIM, P. R.; MATTA, F. M. da. Leaf gas exchange and chlorophyll fluorescence parameters in *Phaseolus vulgaris* as affected by nitrogen and phosphorus deficiency. **Photosynthetica**. 37 (11): 113-121, 1999.
- LOEWENFELF, C.; BACK, F. **Guia de hierbas y especias**. Omega, p. 213-215. 1980.
- LORENZI, H.; MATOS, F.J.A. **Plantas medicinais do Brasil – Nativas e exóticas**. Nova Odessa: Instituto Plantarum. p. 512. 2002.
- LUGG, D. G. SINCLAIR, T. R. Seasonal changes in morphology and anatomy of field grown soybean leaves. **Crop. Science**, v. 20, p. 191-6, 1980.

- MAGALHÃES, A.C.N. Análise quantitativa de crescimento. In: FERRI, M.G. **Fisiologia vegetal**. São Paulo: EDUSP, 1986. v. 1, p. 331-350.
- MAIA, N. B. Efeito da nutrição mineral na qualidade do óleo essencial da menta (*Mentha arvensis* L.) cultivada em solução nutritiva. In: MING, L. C. et al. (Coord). **Plantas medicinais, aromáticas e condimentares, avanços na pesquisa agrônômica**. Botucatu: Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista. v.2, p. 81 - 95. 1998
- MAIRAPETYAN, S. K. Aromatic plant culture in open - air hidroponics. **Acta Horticulturae**, Wageningen,n.502, p. 33-36, 1999.
- MAIRAPETYAN S. K. et al. Otimization of the N:P:K ratio in the nutrient medium of some soilless aromatic and medicinal plants. **Acta Horticulturae**, Wageningen, n. 502, p. 29-32, 1999.
- MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1976. 528 p.
- MALAVOLTA, G. **A B C da adubação**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 256 p.
- MALAVOLTA, G. **Elementos de nutrição Mineral de Plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251p.
- MALAVOLTA, G., VITTI, C. C., OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1989. 201 p.
- MARENCO, R.A.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, 1995 b. cap.8, p. 229-312.
- MARTINS, G. B. M. **Estudos de microscopia óptica e de microscopia eletrônica de varredura em folhas de *Mentha spicata* e de *Mentha spicata* x *suaveolens* (Lameaceae)**. Bragantia. Vol. 61. n. 3. 2002.
- McCASKILL, D., GERSHENZON, J. CROTEAU, R. (1992). Morphology and monoterpene biosynthetic capabilities of secretory cell clusters isolated from glandular trichomes of peppermint (*Mentha piperita* L.). **Planta**. 187: 445-454.
- McLafferty, F.W.; Stauffer, D.B. **NBS registry of matter spectral data**. New York: Wiley, 1989. v. 1.
- McONKEY, M.; GERSHENZON, J. CROTEAU, R. (2000). Developmental regulation of monoterpene biosynthesis in the glandular trichomes of (*Mentha piperita* L.). **Plant physiology**, Sodra, v. 122, p. 215-223.
- 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.

MENGEL, K., KIRKBY, E. A. Magnesium. **In:.... Principles of plant nutrition**, Bern: International potash Institute, 1987. cap. 12, p. 481-92.

MICHAEL, G. Über die aufnahme und verteilung des magnesiums und dessen rolle in der höheren grünen pflanze. **Z. Pflanzenernaehr. Dueng. Bodenkd.**, v.25, p.65-120, 1941.

MILTHORPE, F.L.; MOORBY, J. Some aspects of overall growth and its modification. In: MILTHORPE, F.L.; MOORBY, J. **An introduction to crop physiology**. London: Cambridge University Press, 1974. cap.9, p. 152-179.

MING, L. C. **Influência de diferentes níveis de adubação orgânica na produção de biomassa e teor de óleo essencial de *Lippia Alba* (Mill.), N.E.Br.-Verbenaceae**. Curitiba. 1992. 206p. Dissertação (Mestrado em Ciências- Área de Concentração Botânica)- Universidade federal do Paraná.

MUNSI P. S. Nitrogen and phosphorus nutrition response in japanese mint cultivation. **Acta Horticulturae**. Wageningen, v. 306, p. 436-443, 1992.

MURPHY, L. S. Potassium interactions with other elements. **In: Potash and phosphate institute. Potassium for agriculture: a situation analysis**. Atlanta, 1980. p. 183-209.

PICCAGLIA, R. et al. Agronomic factors affecting the yields and the essential oil composition of peppermint (*Mentha x piperita* L.). **Acta Horticulturae**, n. 344, p. 29-40, 1993.

PORTES, T. A.; CASTRO JUNIOR, L. G. Análise de crescimento de plantas: Um programa computacional auxiliar. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 3, p. 53-60, 1991.

PRAZNA, L.; BERNATH, J. Correlations between the limited level of nutrition and essential oil production of peppermint. **Acta Horticulturae**, n. 344, p. 278-289, 1993.

RABAK, F. The effect of cultural and climatic conditione on the yield and quality of peppermint oil. **Bulletin Plant Industry**, Washington, n. 80, p. 450-454, 1917.

RADFORD, P. S. Growth analysis formula; their use and abuse. **Crop. Science**, v. 7, p. 171 – 175, 1967.

RECH, J. C., FRIZZO, C. D., SERSFINI, L. A., MOYNA, P., LORENZO, D., DELLA CASS, E. Composição química do óleo essencial de menta (Ítalo – Mitcham) cultivada no sul do Brasil e no Uruguai. **In: Congresso Brasileiro de Olericultura, 40.; Congresso Ibero – Americano de Produção de Plantas Medicinalis, aromáticas e Condimentares**, 1., 2000, São Pedro, SP. Suplemento...Brasília:SOB/FCAV – UNESP, V. 18, 2000. p.1008-1009.

REICH, P. B., WALTERS, M. B. ELLSWORTH, D. S. UHL, C. Photosynthesis-nitrogen relations

- in Amazonian tree species. I Patterns among species and communities. **Oecologia**. 97:62-72. 1994.
- REICH, P. B., KLOEPEL, B. D. ELLSWORTH, D. S. WALTERS, M. B. Different photosynthesis-nitrogen in deciduous hardwood and evergreen coniferous tree species. **Oecologia**. 104:24-30. 1995 a.
- REICH, P. B., ELLSWORTH, D. S. UHL, C. Leaf carbon and nutrient assimilation and conservation in species of different successional status in a oligotrophic Amazonian forest. **Funct Ecol**. 9: 65-76. 1995 b.
- RODRIGUES, C. R.; FAQUIN, V.; TREVISAN, D.; PINTO, J. E. B. P.; BERTOLUCCI, S. K. V.; RODRIGUES, T. M. Nutrição mineral, crescimento e teor de óleo essencial da menta em solução nutritiva sob diferentes concentrações de fósforo e épocas de coleta. **Horticultura Brasileira**, v. 22, n. 3, p. 573-578, jul-set 2004.
- ROSOLEM, C. A. Interações do potássio com outros íons. **In: Potássio na Agricultura Brasileira**. Anais do Simpósio sobre Potássio na Agricultura Brasileira. Ed. Tsuioshi Yamada e Terry L. Roberts, Piracicaba, 2005. capítulo 9, p.239-256.
- RUIZ, H. A Relações molares de macronutrientes em tecidos vegetais como base para formulação de soluções nutritivas. **Ceres**, 44 (255), p. 533-546, 1997.
- SALISBURY, F. B., ROSS, W. C. Carbon dioxide fixation and carbohydrate synthesis. **In: Plant physiology**. California:Wadsworth Publishing, 1992.
- SANTOS, R.I. dos. Metabolismo básico e origem dos metabólitos secundários. **In: SIMÕES. C. M. O. et al. Farmacognosia. da planta ao medicamento**. 2. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul; Universidade Federal de Santa Catarina, p. 394-412, 2000.
- SARRUGE, J.R. Soluções nutritivas. **Summa Phytopathologica**, Piracicaba, 1(3): 231-233, 1975.
- SAS, 2001. The SAS System – Release 8.2. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA. 1999-2001.
- SCOTT, B. J., ROBSON, A. D. Changes in the content and form of magnesium in the first trifoliolate leaf of subterranean clover under altered or constant root supply. **Aust. Journal Agriculture Reserch**, v.41, p.511-519, 1990.
- SIMÕES, C. M. O.; SPITZER, V. Óleos voláteis. **In: SIMÕES. C. M. O. et al. Farmacognosia. da planta ao medicamento**. 2. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Universidade Federal de Santa Catarina, p. 394-412, 2000.
- SINHA, N. C., SINGH, J. N. Influence of potassium deficiency on phosphorus metabolism, respiration, foliage growth and essential oil content. **Plant and soil**, The Hague, v. 66, n. 1, p. 283-290. 1982.

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

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

SOARES, A; SACRAMENTO, L. S. **Desempenho de *Mentha sp.* quanto a formação de raízes adventícias em função do substrato.** In: Jornada Paulista de Plantas Mediciniais, 5., 2001, Botucatu. **Anais...** Botucatu: Universidade Estadual paulista, campus de Botucatu.

STEENBOCK, W. Plantas medicinais: resgate do saber popular, alternativa terapêutica, opção de renda e de conservação ambiental no centro do Paraná, Brasil. **Horticultura Brasileira**, Brasília. v. 18, Jul., 2000. Suplemento.

STEFANINI, M. B. **Ação de fotorreguladores no crescimento, produção de biomassa e teor de óleo essencial em *Lippia Alba* (Mill.) N.E.R.- Verbenaceae, em diferentes épocas do ano.** 1997. 127 f. Tese (doutorado em Ciências Biológicas-Área de Concentração Botânica)- Universidade Estadual Paulista- Botucatu- SP. 1997.

SVOBODA, K.P.; SVOBODA, T.G. **Secretory structures of aromatic and medicinal plants.** Knighton, U.K. Microscopix Publications, 2000. 61 p.

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

TEIXEIRA, N. T. **Hidroponia: uma alternativa para pequenas áreas.** Ed. Agropecuária, 1996. 86p.

TEMPEST, D. W., DICKS, J. W., MEERS, J.L. Magnesium and the growth of *Bacillus subtilis*. **Biochemistry Journal.** V. 102, p.36, 1997.

THOMPSON, W. A., KRIEDEMANN, P. E. CRAIG, I.E. Photosynthetic response to light and nutrients in sun-tolerant and shade-tolerant rainforest trees. I. Growth, leaf anatomy and nutrient content. **Aust. J. Plant physiology.** 19: 1-18 pp., 1992.

TLALKA, M. FRICKER, M. The role of calcium in blue-lightdependent chloroplast movement in *Lema trisulca* L. **Plant Journal.** 20: 461-473.

TURNER, G. W.; GERSHENZON, J.; CROTEAU, R.B. Distribution of peltate glandular trichomes on developing leaves of peppermint. **Plant physiology.** 124: 655-663 pp. 2000.

VALMORBIDA, J. **Níveis de potássio em solução nutritiva, desenvolvimento de plantas e a produção**

- de óleo essencial de *Mentha piperita* L.** 2003. 128 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Horticultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, 2003, Botucatu.
- VALMORBIDA, J. Growth and development of *Mentha piperita* L. in nutrient solution as affected by rates of potassium. **Brazilian archives of Biology and technology.** v.50, n.3, p.379-384, may 2007.
- VENTURA, C. A. D. **Níveis de potássio, cálcio e Mg em solução nutritiva influenciando o crescimento e a composição da soja (*Glycine max* (L.) Merrill), cv. Paraná.** 1987. 65 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura.
- VOIRIN, B.; BAYET, C. Development changes in the monoterpene composition of *Mentha x Piperita* leaves from individual peltate trichomes. **Phytochemistry.** 43: 573-580. 1996.
- WALKER, C. J. WEINSTEIN, J. D. Further characterization of the magnesium chelatase in isolated developing cucumber chloroplasts. **Plant Physiology.**, v. 95, p. 1189-1196, 1991.
- WATSON, D.J. The physiological basis of variation in yield. **Adv. Agron.**, v. 4, p. 101-145, 1952.
- WILKINSON, R.E. **Plant : environment interactions.** New York: Marcel Dekker, 1994.
- XAVIER, F.E. **Análise de crescimento de quatro cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), em duas épocas de plantio, em Viçosa, Minas Gerais.** 1976. 26 f. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1976.
- ZAR, J.H. **Biostatistical Analysis.** 2 ed. Englewood Cliffs: Prentice - Hall International Editions, 1986. 718 p.
- ZEIGER, E. Nutrição mineral. **In:--- Fisiologia Vegetal.** 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004a. cap. 5, p.95-105.
- ZEIGER, E. Fotossíntese: as reações luminosas. **In:---- Fisiologia Vegetal.** 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004b. cap. 7, p.139-169.
- ZEIGER, E. Fotossíntese: reações de carboxilação. **In:---- Fisiologia Vegetal.** 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004c. cap. 8 p.173-196.
- ZEIGER, E. Fotossíntese:considerações fisiológicas e ecológicas. **In:---- Fisiologia Vegetal.** 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004d. cap. 9, p.199-217.
- ZEIGER, E. Respostas à luz azul: movimentos estomáticos e morfogênese. **In:---- Fisiologia Vegetal.** 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004e. cap. 18, p.429-445.
- ZHELJAZKOV, V.; MARGINA, A. Effect of increasing doses of fertilizer application on quantitative and qualitative characters of mint. **Acta Horticulture.** n. 426. p. 579-592, 1996.

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)