

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta tese/dissertação será disponibilizado somente a partir de 10/02/2022



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



FABRÍCIO CUSTÓDIO DE MOURA GONÇALVES

**APLICAÇÃO DE FERRO E INTENSIDADE DE RADIAÇÃO SOLAR MODULA O
METABOLISMO EM PLANTAS DE *Mentha piperita* L.**

BOTUCATU

2021

FABRÍCIO CUSTÓDIO DE MOURA GONÇALVES

**APLICAÇÃO DE FERRO E INTENSIDADE DE RADIAÇÃO SOLAR MODULA O
METABOLISMO EM PLANTAS DE *Mentha piperita* L.**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia (Horticultura).

Orientadora: Prof^a Dr^a Elizabeth Orika Ono

Coorientador: Prof. Dr. João Domingos Rodrigues

Botucatu

2021

G635a Gonçalves, Fabrício Custódio de Moura
Aplicação de ferro e intensidade de radiação solar
modula o metabolismo em plantas de *Mentha piperita* L. /
Fabrício Custódio de Moura Gonçalves. -- Botucatu, 2021
189 p. : tabs., fotos

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista
(Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu
Orientadora: Elizabeth Orika Ono
Coorientadora: João Domingos Rodrigues

1. Planta medicinal. 2. Micronutriente. 3. Irradiância. 4.
Metabolismo vegetal. 5. Estrutura foliar. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca
da Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo
autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: APLICAÇÃO DE FERRO E INTESIDADE DE RADIAÇÃO SOLAR MODULA O METABOLISMO EM PLANTAS DE *Mentha piperita* L.

AUTOR: FABRÍCIO CUSTÓDIO DE MOURA GONÇALVES

ORIENTADORA: ELIZABETH ORIKA ONO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA (HORTICULTURA), pela Comissão Examinadora:

Prof.ª Dr.ª ELIZABETH ORIKA ONO (Participação Virtual)
Botânica / Instituto de Biociências de Botucatu - UNESP



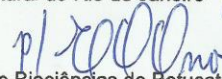
Prof.ª Dr.ª CARMEN SILVIA FERNANDES BOARO (Participação Virtual)
Botânica / Instituto de Biociências de Botucatu - UNESP



Prof. Dr. LUIZ RICARDO DOS SANTOS TOZIN (Participação Virtual)
Instituto de Ciências Biológicas e da Saúde / Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro



Prof.ª Dr.ª TATIANE MARIA RODRIGUES (Participação Virtual)
Bioestatística, Biologia Vegetal, Parasitologia e Zoologia / Instituto de Biociências de Botucatu - UNESP



Prof.ª Dr.ª ANGÉLICA LINO RODRIGUES (Participação Virtual)
/ Faculdade Orígenes Lessa



Botucatu, 10 de fevereiro de 2021

AGRADECIMENTOS

A Deus.

Aos meus pais, Francisco e Isabel, que dignamente me ensinaram agir com respeito, simplicidade, dignidade, honestidade e amor ao próximo.

Aos meus irmãos e demais familiares, que sempre me incentivaram.

À Faculdade de Ciências Agrônômicas e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Horticultura - Universidade Estadual Paulista - Júlio de Mesquita Filho, pela oportunidade.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos.

À Prof^a Dr^a. Elizabeth Orika Ono, pela orientação, ensinamentos, paciência e exemplo de profissional.

Ao Prof. Dr. João Domingos Rodrigues, pela coorientação e amizade. A você Prof. Mingo, meu respeito e admiração.

À banca examinadora, composta pelos professores Carmen Silva Fernandes Boaro, Angélica Lino Rodrigues, Tatiane Maria Rodrigues e Luiz Ricardo dos Santos Tozin, pelo aceite do convite e contribuições.

À Prof^a Dr^a Tatiane Maria Rodrigues por permitir o uso do laboratório para análises anatômicas.

Ao Gean Monteiro, Luís Paulo Mantoan, Nathália Parreiras, Nicolas Oliveira e Stefany Cristina pela amizade e colaboração durante esse trabalho.

Aos amigos do curso de Pós-Graduação em Agronomia/Horticultura, Rafael Bibiano, Bruno Novaes e Carla Correa pela amizade e apoio.

Finalmente, a todos que participaram direta e indiretamente dessa fase importante da minha vida.

Meus sinceros agradecimentos!

RESUMO

A hortelã-pimenta (*Mentha piperita* L.) é uma planta medicinal com potencial na medicina tradicional, indústria farmacêutica e de perfumes. Os compostos ativos das plantas resultam tanto do metabolismo primário como do secundário, mais recentemente denominado especializado. Condições ambientais, como intensidade da radiação solar e a nutrição mineral modulam o metabolismo vegetal influenciando a fisiologia, bioquímica e anatomia desses indivíduos. O presente estudo tem como objetivo analisar respostas fisiológicas, bioquímicas e anatômicas em plantas de *M. piperita* submetidas à aplicação de ferro (Fe) e diferentes intensidades de radiação solar. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, com controle de umidade e temperatura. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em esquema fatorial com 2 fatores: concentrações de Fe (5 concentrações) e 2 condições de irradiância I_{100%} (pleno sol) e I_{50%} (irradiância 50%). As concentrações de Fe aplicadas via foliar foram: 0 (controle), 0,5, 1,0, 1,5 e 2,0 g L⁻¹ e duas condições de irradiância, I_{100%} e I_{50%}. Foram realizadas avaliações de crescimento, teores de pigmentos, Fe foliar e, carboidratos, bem como trocas gasosas, fluorescência da clorofila a, respostas relacionadas ao sistema antioxidante e modificações anatômicas. No capítulo 1, os resultados revelam que em curto período de tempo, a maior sensibilidade as maiores concentrações de Fe são causadas pelo comprometimento da fotossíntese, como a concentração interna de CO₂ (Ci) e eficiência de uso de água, desencadeada por dano oxidativo e sua consequente incapacidade de extinguir o excesso de energia entre os fotossistemas, como revelado pela elevação de coeficiente de extinção fotoquímica (qP) e diminuição de quenching não fotoquímico (NPQ). A condição de I_{50%} eleva os valores de clorofilas (a e b), carotenoides, Ci, transpiração, fluorescência mínima da folha adaptada ao claro (F₀'), fluorescência máxima da folha adaptada ao escuro (F_m) e ao claro (F_m'), eficiência quântica da antena (F_v'/F_m'), fluorescência variável adaptada ao claro (F_v') e ao escuro (F_v). A condição em pleno sol (I_{100%}) aumenta a fluorescência mínima da folha adaptada ao escuro (F₀) e a taxa de transporte de elétrons. Nos capítulos 2 e 3, os resultados revelam que o crescimento, concentração de clorofilas, assimilação e uso de CO₂ são influenciados positivamente pela aplicação com concentrações menores de Fe, refletindo em maior produção de biomassa total. De maneira em geral, a aplicação de Fe não prejudica o aparato fotossintético, sem alteração na produção de peróxido de hidrogênio, apesar de modificar discretamente peroxidação lipídica, no entanto, incrementa respostas do sistema antioxidantes. A condição I_{100%} reflete positivamente em incrementos de trocas gasosas, biomassa e compostos fenólicos totais. No capítulo 4, o teor de Fe foliar é proporcional a concentração aplicada desse elemento e com maior acúmulo em condição de menor incidência solar (I_{50%}). Plantas pulverizadas com 1,5 g L⁻¹ de Fe em condição de I_{50%} aumenta a espessura do mesofilo foliar. A área ocupada pelos espaços intercelulares do mesofilo foi afetada significativamente na presença de 1,5 g L⁻¹ de Fe sob redução do nível de irradiância (I_{50%}). A aplicação de Fe reduz o número de elementos condutores na nervura principal. De maneira em geral, o ambiente com sombreamento (I_{50%}) diminui espessuras da epiderme da face adaxial e dos parênquimas paliçádico e esponjoso. Em busca de maior produtividade de plantas de *M. piperita*, recomenda-se concentrações menores de Fe e cultivo em condição de maior intensidade de radiação solar.

Palavras-chave: Planta medicinal. Micronutriente. Irradiância. Metabolismo vegetal. Estrutura foliar.

ABSTRACT

Peppermint (*Mentha piperita* L.) has medicinal properties and is largely employed in both pharmaceutical and cosmetic industries. The plants' active compounds come from both primary and secondary metabolism, which is recently called specialized. Then, environmental conditions, such as solar radiation intensity and mineral nutrition modulate plant metabolism; consequently, influencing their physiology, biochemistry, and morphology. The present study aimed to analyse physiological, biochemical, and morphological responses in *M. piperita* plants subjected to iron (Fe) application under different solar radiation conditions. The experiment was conducted in a greenhouse with controlled humidity and temperature. The experimental design was completely randomized in a 5x2 factorial scheme, that is, five Fe concentrations (0 [control], 0.5, 1.0, 1.5 and 2.0 g L⁻¹) and two irradiance conditions (I_{100%} [full sunlight] and I_{50%} [50% irradiance]). The following parameters were analysed growth evaluations, pigments levels, Fe in leaf and carbohydrates, besides gas exchange, chlorophyll a fluorescence, responses related to the antioxidant system and morphological changes. In the first chapter, the results showed the greater sensitivity to higher Fe concentrations are caused by photosynthesis impairment in a short period of time, such as the internal CO₂ concentration of (C_i) and water use efficiency, triggered by oxidative damage and, consequently, the inability to extinguish excess energy between photosystems, since there was an increase in the photochemical extinction coefficient (qP) and a decrease in non-photochemical quenching (NPQ). The I_{50%} condition increases the values of chlorophylls (a and b), carotenoids, C_i, transpiration, minimum fluorescence in light adapted leaf (F_{o'}), maximum fluorescence in the dark adapted leaf (F_m) and light adapted leaf (F_{m'}), antenna quantum efficiency (F_v'/F_m'), variable fluorescence adapted to light (F_v) and dark (F_v). The full sunlight condition increases the minimum fluorescence in dark adapted leaf (F_o) and electron transport rate. In the second and third chapters, results showed that growth, chlorophyll concentration, CO₂ assimilation and uptake are positively influenced by lower doses of Fe; thus, a higher total biomass production. In general, Fe application does not harm the photosynthetic apparatus without altering hydrogen peroxide production, despite the slight change in lipid peroxidation; however, it increases responses to antioxidant system. The I_{100%} reflects positively in gas exchange, biomass, and total phenolic compounds. In the fourth chapter, the Fe content in leaf is proportional to the applied concentration of this element, besides the greatest accumulation under lower irradiance conditions (I_{50%}). Plants sprayed with 1.5 g L⁻¹ of Fe and I_{50%} increased the thickness of the leaf mesophyll. The area occupied by the intercellular spaces of the leaf mesophyll was significantly affected with 1.5 g L⁻¹ of Fe under low irradiance condition (I_{50%}). The Fe application reduces the number of conductive elements in leaf midrib. In general, shaded environment (I_{50%}) decreases the thickness of the epidermis of the adaxial face and the palisade and spongy parenchyma. In a search for high yield of *M. piperita* plants, low Fe concentrations and cultivation area under full sunlight are recommended.

Keywords: Medicinal plant. Micronutrient. Irradiance. Plant metabolism. Leaf structure.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	13
CHAPTER 1	19
IRRADIANCE AND APPLICATION OF IRON INTENSIFIES RESPONSES OF THE PRIMARY METABOLISM AND ANTIOXIDANTS OF PLANTS OF <i>Mentha piperita</i> L.	19
1.1 INTRODUCTION.....	19
1.2 MATERIAL AND METHODS.....	21
1.2.1 STUDY LOCATION.....	21
1.2.2 PLANT MATERIAL AND TREATMENTS.....	21
1.2.3 EVALUATION OF PHYSIOLOGICAL VARIABLES.....	22
1.2.4 EVALUATION OF BIOCHEMICAL VARIABLES.....	24
1.2.5 EXPERIMENTAL DESIGN.....	25
1.2.6 STATISTICAL ANALYSIS.....	25
1.3 RESULTS.....	25
1.3.1 EFFECT OF FE APPLICATION AND SOLAR RADIATION INTENSITY ON CHLOROPHYLL CONTENT.....	26
1.3.2 EFFECT OF FE APPLICATION AND SOLAR RADIATION INTENSITY ON GAS EXCHANGE VARIABLES.....	29
1.3.3 EFFECT OF FE APPLICATION AND SOLAR RADIATION INTENSITY ON CHLOROPHYLL A FLUORESCENCE VARIABLES.....	31
1.3.4 EFFECT OF FE APPLICATION AND SOLAR RADIATION INTENSITY ON ANTIOXIDANT SYSTEM VARIABLES.....	35
1.4 DISCUSSION.....	36
1.5 CONCLUSIONS.....	39
REFERENCES.....	39
CAPÍTULO 2	45
FERRO EXÓGENO E INTENSIDADE DE RADIAÇÃO SOLAR MODIFICA RESPOSTAS DO METABOLISMO PRIMÁRIO DE <i>Mentha piperita</i> L.	45
2.1 INTRODUÇÃO.....	47
2.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	49
2.2.1 LOCAL DE ESTUDO.....	49
2.2.2 MATERIAL VEGETAL E TRATAMENTOS.....	49
2.2.3 AVALIAÇÃO DE VARIÁVEIS FISIOLÓGICAS.....	50
2.2.4 AVALIAÇÃO DE VARIÁVEIS BIOQUÍMICAS.....	53
2.2.5 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	55
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	55
2.3.1 VARIÁVEIS FISIOLÓGICAS.....	57
2.3.2 ANÁLISE DE CRESCIMENTO.....	57
2.3.3 PIGMENTOS FOTOSSINTÉTICOS.....	70
2.3.4 TROCAS GASOSAS.....	74
2.3.5 FLUORESCÊNCIA DA CLOROFILA A.....	87
2.3.6 ANÁLISE DE CARBOIDRATOS.....	96
2.3.7 ANÁLISE DOS COMPONENTES PRINCIPAIS (APC).....	103
2.4 CONCLUSÕES.....	107

	REFERÊNCIAS.....	108
	CAPÍTULO 3.....	120
	AÇÃO DO FERRO EXÓGENO E IRRADIÂNCIA NA PRODUÇÃO DE METABÓLITOS COM POTENCIAL ANTIOXIDANTE DE FOLHAS DE <i>Mentha piperita</i> L.....	120
3.1	INTRODUÇÃO.....	122
3.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	124
3.2.1	LOCAL DE ESTUDO.....	124
3.2.2	MATERIAL VEGETAL E TRATAMENTOS.....	124
3.2.3	ANÁLISES BIOQUÍMICAS.....	125
3.2.4	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	130
3.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	131
3.3.1	EFEITO DA APLICAÇÃO DE FE E DA INTENSIDADE DA RADIAÇÃO SOLAR NOS TEORES DE ANTIOXIDANTES.....	131
3.4	CONCLUSÕES.....	147
	REFERÊNCIAS.....	148
	CAPÍTULO 4.....	154
	APLICAÇÃO DE FERRO E INTENSIDADE DE RADIAÇÃO SOLAR MODIFICA ANATOMIA DE FOLHAS DE <i>Mentha piperita</i> L.....	154
4.1	INTRODUÇÃO.....	156
4.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	158
4.2.1	LOCAL DE ESTUDO.....	158
4.2.2	MATERIAL VEGETAL E TRATAMENTOS.....	158
4.2.3	TEOR DE FERRO FOLIAR.....	159
4.2.4	ANATOMIA DA FOLHA.....	159
4.2.5	DENSIDADE ESTOMÁTICA (Nº DE ESTÔMATOS POR MM ²).....	160
4.2.6	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	160
4.2.7	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	161
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	161
4.3.1	EFEITO DA APLICAÇÃO DE FE E DA INTENSIDADE DA RADIAÇÃO SOLAR NO TEOR DE FERRO.....	161
4.3.2	EFEITO DA APLICAÇÃO DE FE E DA INTENSIDADE DA RADIAÇÃO SOLAR EM ASPECTOS ANATÔMICOS.....	163
4.4	CONCLUSÕES.....	175
	REFERÊNCIAS.....	176
	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	182
	REFERÊNCIAS.....	185

INTRODUÇÃO GERAL

As plantas medicinais têm sido usadas durante séculos na medicina tradicional devido ao seu efeito terapêutico (SAHARKHIZ et al., 2012), constituindo, ainda hoje, alternativa de grande aceitação (SANTOS et al., 2008). Os potenciais das plantas medicinais ainda não foram investigados em sua totalidade e seus princípios ativos podem ser decisivos em estudos atuais e no futuro. Dessa forma, o cultivo e a importância das plantas medicinais e aromáticas vêm crescendo, com base, em especial, na demanda criada pelas indústrias (SOUZA et al., 2007; SINGH, 2015). Nos diferentes ramos industriais, a contribuição das plantas medicinais é notável, pois são amplamente utilizadas em vários países como remédios, cosméticos, conservantes de alimentos e perfumes. Especificamente, o uso dos óleos essenciais (OE) na perfumaria se deve ao seu potencial aromático (PALA et al., 2010; SÁNCHEZ-GONZÁLEZ et al., 2011; DAR et al., 2017).

A hortelã-pimenta (*Mentha piperita* L.) é uma espécie da família Lamiaceae, erva medicinal e aromática de importância em todo o mundo e possui potencial na culinária, na medicina tradicional, indústria farmacêutica, cosmética e de perfumes (ROODBARI et al., 2013; MALAQUIAS et al., 2014). O OE dessa espécie possui diversos usos na medicina popular, sendo utilizada para amenizar cólicas, bronquite crônica, calmante, revitalizante, antidepressivo, antialérgico, carminativo, hipotensor, tônico em geral, antiespasmódico, espasmolítica, antiemética, estomáquica e como broncodilatadora e estimulante do sistema nervoso (MALAQUIAS et al., 2014; SIQUEIRA et al., 2017). Além disso, o potencial antimicrobiano de diferentes partes da *M. piperita* reporta a significativa atividade antibacteriana de extratos obtidos das folhas da planta, possivelmente, devido à presença de alcaloides, flavonoides, esteroides, taninos e fenóis (BENITEZ et al., 2016).

O OE das folhas de *M. piperita* apresenta mais de 200 componentes, é um líquido de cor amarelo claro, odor forte e agradável, possui sabor aromático, sendo um dos OE mais produzidos e consumido no mundo. Os mais importantes constituintes do OE dessa espécie são mentol, mentona, isomentona, acetato de mentila, mentofurano, limoneno, pulegona, carvona, α -pineno, sabineno, β -pineno, 3-octanol, 1,8 cineol, piperitona, acetato de neomentila, *t*-cariofileno, farneseno, neomentol e isomentol (TAVISH; HARRIS, 2002; AFLATUNI, 2005). Dentre os

monoterpenos, o mentol é o principal constituinte, seguido pela mentona e outros compostos minoritários acetato de mentila, 1,8-cineol, mentofurano, isomentona, neomentol, limoneno, pulegona, α -pineno, β -pineno, linalol e α -terpineol, enquanto o α -cariofileno representa o principal sesquiterpeno (AFLATUNI, 2005; BEHN et al., 2010; VERMA et al., 2011).

Apesar do mentol ser considerado o principal componente, no entanto, não é a única substância que define a qualidade do OE (PAULUS et al., 2007). Outras substâncias presentes no perfil químico de voláteis foliares da *M. piperita* podem agregar valor, como o mentofurano que representa uma substância interessante para a indústria de perfumes por não intensificarem o aroma da essência, além do que, é uma substância de custo elevado, devido a sua limitada disponibilidade e baixa produção (0 a 6%) (KHANUJA et al., 2003). Destaca-se ainda o acetato de mentila, que é utilizado em perfumaria, em águas sanitárias, além de ser um monoterpeneo que apresenta atividade contra ovos, larvas e adultos de drosófilas (ADDOR, 1994; THE MERCK INDEX, 1996).

Os componentes das plantas medicinais resultam tanto do metabolismo primário e secundário, atualmente denominado metabolismo especializado, que é essencial para o crescimento, desenvolvimento e defesa de plantas (KLIEBENSTEIN; OSBOURN, 2012; ZANDALINAS et al., 2017). A quantidade e qualidade dos princípios ativos refletem o valor comercial das plantas medicinais (POVH; ONO, 2006), que, por sua vez, são influenciados por fatores, como genética da planta, disponibilidade de água, local de cultivo e composição do solo, assim como, tratamentos culturais, que junto com a herbivoria, também podem influenciar no rendimento e na composição dos OEs. Esses fatores podem ainda interagir entre si, influenciando no metabolismo especializado (LOPES et al., 2009; ROSA et al., 2010; LOPES et al., 2013; ARUMUGAM et al., 2016; GORELICK; BERNSTEIN, 2017; DEHSHEIKH et al., 2019). Deve-se destacar ainda que, compostos de plantas medicinais são sintetizados somente durante determinada fase de crescimento, ou ainda, em épocas específicas e, sobretudo, em condições ambientais adversas (GHOSH et al., 2018). Dessa maneira, percebe-se a importância de estudos realizados em diferentes condições de cultivo, com o objetivo de elevar a produtividade e qualidade de compostos de plantas medicinais.

Dentre os fatores do ambiente, a luz tem função primordial no metabolismo vegetal, pois controla a produção da biomassa e é determinante para plasticidade relacionada à aclimação a situações diferenciadas de luminosidade que leva a modificações no aparato fotossintético, de forma a promover acúmulo eficiente de matéria seca e promover o crescimento (ALVARENGA et al., 2005). Frigeri (2007) e Miralles et al. (2011) apontam como variáveis morfológicas, que variam em função dos diferentes níveis de irradiância, relação raiz/parte aérea, massa específica foliar e razão de área foliar. Variáveis estas que estão associadas à área, espessamento, número e arranjo espacial de folhas; biomassa alocada no caule, nas folhas e raízes; biomassa total; altura e espessura do caule.

Apesar disso, as plantas podem responder de maneira específica aos estímulos luminosos. Essas respostas não dependem apenas da presença ou da ausência da luz, mas também da qualidade espectral da radiação (BOULY et al., 2007). Tem-se utilizados várias técnicas para a manipulação da qualidade da luz. Alguns trabalhos mostram efeitos marcantes sobre a fotomorfogênese de plantas pela iluminação artificial (PONS; VAN BERKEL, 2004) por coberturas refletoras ou malhas coloridas para casas de vegetação (SHAHAK; GUSSAKOVSKY, 2004). Zhang et al. (2009) reforçam que a intensidade da luz pode melhorar significativamente o crescimento e alterar as concentrações de metabólitos. Por exemplo, o aumento na densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFFFA) de $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ melhorou significativamente o crescimento e a capacidade fotossintética de plântulas de *Momordica grosvenori*. Em parte, Selmar e Kleinwachter (2013) sugerem que o aumento da síntese de metabólitos secundários, como isoprenoides, fenóis ou alcaloides, pode ser explicado como resultado da redução de CO_2 interno e da atividade do ciclo de Calvin e aumento da oferta de agentes redutores (NADPH) para as vias metabólicas secundárias.

Adicionalmente, os micronutrientes são essenciais para o crescimento e desenvolvimento da planta, devido ao seu envolvimento em diversas funções celulares, como o metabolismo energético, regulação de expressão gênica, síntese e percepção de hormônios vegetais, e, são ainda cofatores para a estrutura e/ou atividade catalítica de enzimas. Os micronutrientes são necessários em pequenas quantidades, sendo que seu excesso pode causar estresse e, em última instância, toxicidade, inibindo a atividade enzimática e induzindo a formação de espécies

reativas de oxigênio (EROs), podendo ocasionar interrupção do equilíbrio iônico intracelular (DALCORSO et al., 2014). É amplamente relatado que a aplicação foliar de micronutrientes melhora o rendimento em várias culturas, inclusive em plantas medicinais, como revelado em *M. piperita* (ZEHTAB-SALMASI et al., 2008).

O ferro (Fe) é considerado o quarto microelemento mais abundante na crosta terrestre e é essencial para o crescimento e produtividade vegetal (CURIE; BRIAT, 2003; PUIG et al. 2005). Esse elemento é constituinte de várias proteínas e enzimas que desempenham papéis importantes nos principais processos metabólicos, incluindo respiração celular, transporte de oxigênio, metabolismo de lipídeos, ciclo do ácido tricarboxílico (TCA), regulação gênica, síntese de intermediários metabólicos e biossíntese de DNA, além de ser essencial para a fotossíntese e biossíntese de clorofila (JEONG; CONNOLLY, 2009; BRIAT et al., 2010; ADAMSKI et al. 2012; ABOUTALEBI, 2013; CHEN et al., 2015; MAHENDER et al., 2019). Contudo, o Fe encontra-se pouco disponível na maioria dos solos (MARSCHNER et al., 2011) e a sua disponibilidade depende de vários fatores, como tipo de solo, pH, matéria orgânica e atividades microbianas que influenciam significativamente na absorção, captação, transporte e translocação de Fe do solo para as raízes e, conseqüentemente, para os demais órgãos da planta (MAHENDER et al., 2019).

As plantas desenvolveram duas estratégias para absorção do Fe, a fim de driblar a deficiência deste mineral nos solos. As estratégias I (redução) e II (quelatão). A estratégia I é típica de dicotiledôneas e monocotiledôneas não gramináceas, que consiste na redução de Fe^{3+} em Fe^{2+} através da acidificação da rizosfera, causada pela liberação de prótons H^+ através da H^+ -ATPases de membrana plasmática (GARCÍA et al., 2011; MARSCHNER, 2012; GARCÍA et al., 2015). Na estratégia II, os fitossideróforos (FS), compostos com alta afinidade pelo ferro, como ácidos muginéico e avênico, assim como a nicotianamina, são secretados para a rizosfera, onde se unem ao Fe^{3+} formando um complexo quelato (Fe^{3+} -FS). Este complexo é transportado para o interior da célula por transportadores específicos conhecidos como *Yellow Stripe 1* (YS1) (BASHIR et al., 2011; ALEXANDRE et al., 2012; KOBAYASHI; NISHIZAWA, 2012; MARSCHNER, 2012; AUNG et al., 2018). A forma iônica (Fe^{2+}) é preferencialmente absorvida pelas plantas (BROADLEY et al., 2012; LÓPEZ-MILLÁN et al., 2013; ROUT; SAHOO, 2015). Uma vez que, o Fe penetra na raiz, inicia-se seu caminho via simplasto, dependente de um sistema de transportador

de membrana de alta afinidade por Fe (CURIE; BRIAT, 2003), carregado no xilema e translocado na forma de complexos com ácidos orgânicos, sobretudo, citrato para a parte superior via fluxo transpiratório (BECKER; ASCH, 2005; KOBAYASHI; NISHIZAWA, 2012).

O Fe atua ainda na biossíntese de etileno, ácido giberélico e jasmônico, na produção e na eliminação de espécies reativas de oxigênio, na osmoproteção e na defesa de patógenos (HÄNSCH; MENDEL, 2009; DIXON; STOCKWELL, 2014; FOURCROY et al., 2014; BRIAT et al., 2015). As enzimas que atuam na transferência de elétrons utilizam o Fe como cofator de escolha, sendo estas enzimas envolvidas em uma variedade de reações redox reversíveis (FOURCROY et al., 2014), como transporte de elétrons. Além disso, é importante na fixação de nitrogênio (JEONG; GUERINOT, 2009; MARENCO; LOPES, 2009; BRIAT et al., 2010; MÜLLER et al., 2015). Tanto o excesso como a deficiência por Fe em plantas causa redução da produção de clorofila (BRIAT et al., 2015; ROUT; SAHOO, 2015). E pode provocar ainda distúrbios nutricionais e danos oxidativos que afetam negativamente a produção agrícola (AUDEBERT; FOFANA, 2009; STEIN et al., 2014).

Considerando as inúmeras variações de produção de massa, respostas bioquímicas, anatômicas e produção de OE e a escassez de informações sobre efeitos do elemento Fe em respostas a diferentes condições de luz nesses processos biológicos, são, portanto, cruciais. O Fe influencia inúmeras reações metabólicas vitais, exercendo efeitos diretos sobre a produção de compostos dos metabolismos primário e especializado, além de modificar a própria anatomia da planta (JAIN; CONNOLLY, 2013), enquanto, a luz em plantas medicinais influencia não só o crescimento, mas também a produção de OE. Por exemplo, plantas de *M. piperita* cultivadas sob alta intensidade de luz revela incremento no crescimento e na produção de óleo essencial (COSTA et al., 2012).

A *M. piperita* é uma espécie de importância econômica, destacando-se entre as plantas medicinais, sobretudo, devido às suas propriedades terapêuticas comprovadas e sua inclusão na Farmacopeia de diferentes países. Dessa forma, a importância de estudos sobre o comportamento fisiológico, bioquímico e anatômico dessa espécie consiste em gerar conhecimentos que possibilitem determinar condições ideais de cultivo, a fim de alcançar maiores índices de produtividade,

quantidade e qualidade de princípios ativos de interesse econômico, biológico e farmacológico.

O presente estudo tem como objetivo geral analisar efeitos da aplicação de Fe e da intensidade de radiação solar em respostas fisiológicas, bioquímicas e anatômicas em plantas de *M. piperita*.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em curto intervalo de tempo, a maior sensibilidade as maiores concentrações de ferro são causadas pelo comprometimento da fotossíntese, como a concentração interna de CO₂ e eficiência de uso de água, e, não por limitação da condutância estomática, mas desencadeada por dano oxidativo e sua consequente incapacidade de extinguir o excesso de energia entre os fotossistemas, como revelado pelo aumento dos valores do coeficiente de dissipação fotoquímica (qP) e diminuição do quenching não fotoquímico. A condição de I_{50%} eleva os valores de clorofilas, carotenoides, concentração interna de CO₂ e transpiração, fluorescência mínima da folha adaptada ao claro (F_o'), fluorescência máxima da folha adaptada ao escuro (F_m) e ao claro (F_m'), eficiência quântica da antena (F_v'/F_m'), fluorescência variável adaptada ao claro (F_v') e ao escuro (F_v) e taxa de transporte de elétrons (ETR). A condição em pleno sol (I_{100%}), eleva a fluorescência mínima da folha adaptada ao escuro (F_o) e ETR. Na dependência da concentração e da intensidade da radiação solar, aplicações baixas de ferro modifica positivamente a produção de pigmentos (clorofila *b*) e fixação e uso de CO₂ de plantas de *Mentha piperita*, incrementando o rendimento em biomassa e melhorando o aparato fotossintético, enquanto, concentrações mais elevadas tendem a reduzir a concentração interna de CO₂, bem como a eficiência de uso de água, além de afetar o sistema de eficiência fotoquímica (F_v'/F_m' e qP) refletindo negativamente na produção de biomassa.

Em geral, aplicações com Fe, em ambas condições de irradiância, atua positivamente na rota de biossíntese dos açúcares. Aplicações de Fe eleva ainda atuação de enzimas de defesa do sistema antioxidante, como a atividade da peroxidase, correlacionando inclusive com os valores de malonaldeído (MDA), apesar de não alterar a produção de espécies reativas de oxigênio, favorecendo, de maneira geral, plantas de *M. piperita* em ambas as condições de irradiância.

Sugere-se ainda a existência de participação conjunta de atividades da peroxidase e superóxido dismutase em minimizar possíveis danos de peroxidação lipídica (MDA), sobretudo, com a aplicação de concentrações mais elevadas de Fe, demonstrando ser um importante componente do sistema enzimático de combate ao estresse oxidativo em *M. piperita*.

Aplicações de Fe tende a reduzir os valores de carotenoides e de antocianinas, no entanto, concentrações menores de Fe proporciona acúmulo de compostos fenólicos em folhas de *M. piperita*, sobretudo, em condição de maior incidência luminosa, porém, não estão de acordo com os valores de flavonoides, correlacionando discretamente com a capacidade antioxidante pelos métodos frente ao radical livre (DPPH) e pelo poder antioxidante de ferro (FRAP).

Os teores de Fe de folhas de *M. piperita* aumentam de acordo com a concentração de Fe aplicada, sobretudo, em condição de I_{50%}. A aplicação de Fe não modifica espessuras das epidermes adaxial e abaxial. No entanto, plantas pulverização com 1,5 g L⁻¹ de Fe sob condição de I_{50%}, apresentam elevação de espessura do mesófilo foliar. A aplicação de 2,0 g L⁻¹ de Fe em condição de I_{50%} eleva a densidade de veneção do mesófilo. A área ocupada pelos espaços no mesofilo foi afetada significativamente na presença de 1,5 g L⁻¹ de Fe e pela diminuição dos níveis de luminosidade (I_{50%}). A aplicação com Fe, causa ainda diminuição do número de elementos condutores da nervura principal.

A condição de maior irradiância (I_{100%}), altera consideravelmente a alocação de biomassa, permitindo maior produção de massas secas da parte aérea, caule e raízes, em resposta a maior eficiência de assimilação e uso de CO₂ e da elevação da taxa de transporte de elétrons. Em condição de I_{50%} as plantas de *M. piperita* investem mais em complexos coletores de luz e elevam os valores de F_o' , F_m , F_m' , F_v'/F_m' e de F_v' . As diferentes condições de irradiância, altera a espessura da epiderme da face adaxial, destacando a condição com maior nível de irradiância, inclusive espessuras dos parênquimas paliádico e esponjoso, correlacionando em parte com a espessura do mesofilo. Essa condição (I_{100%}) favorece ainda o número de elementos condutores na nervura principal.

REFERÊNCIAS

- ABOUTALEBI, A. Effects of nitrogen and iron on Sweet lime (*Citrus limmetta*) fruit quantity and quality in calcareous. **Journal of Novel Applied Sciences**, v. 2, n. 8, p. 211-213, 2013.
- ADDOR, R. W. Inseticida. In: GODFREY, C.R.A. (Ed.). **Agrochemicals from natural products**. New York: Marcel Dekker, 1994.
- AFLATUNI, A. **The yield and essential oil content of mint (Mentha ssp.) in Northern Ostrobothnia**. University Press, Finland, 52 p. 2005.
- ALEXANDRE, J. R. et al. Zinco e ferro: de micronutrientes a contaminantes do solo. **Natureza on Line**, Santa Teresa, v. 10, n.1, p. 23-28, 2012.
- ALVARENGA, A. A.; CASTRO, E. M.; LIMA JUNIOR, E. C.; MAGALHÃES, M. M. Effects of different light levels on the initial growth and photosynthesis of *Croton urucurana* Baill. in southeastern Brazil. **Revista Árvore**, v.27, p.53-57, 2005.
- ARUMUGAM, G.; SWAMY, M. K.; SINNIAH, U. R. *Plectranthus amboinicus* (Lour.) Spreng: Botanical, Phytochemical, Pharmacological and Nutritional Significance. **Molecules**, v. 21, n. 369, 2016.
- AUDEBERT, A.; FOFANA, M. Rice yield gap due to iron toxicity in West Africa. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 195, p. 66–76, 2009.
- AUNG, M.S.; MASUDA, H.; KOBAYASHI, T.; NISLIIZAWA, N. K. Physiological and transcriptomic analysis of responses to different levels of iron excess stress in various rice tissues. **Soil Sei Plant Nutr.**, 2018.
- BASHIR, K.; ISHIMARU, Y.; SHIMO, H.; KAKEI, Y.; SENOURA, T.; TAKAHASHI, R. Rice phenolics efflux transporter 2 (PEZ2) plays an important role insolubilizing apoplasmic iron. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 57, p. 803-812, 2011.
- BECKER, M.; ASCH, F. Iron toxicity in rice-conditions and management concepts. **J. Plant Nutr. Soil Sci.** v.168, n.4, p.558-573, 2005.
- BEHN, H.; ALBERT, A.; MARX, F.; NOGA, G.; ULBRICH, A. Ultraviolet. B and photosynthetically active radiation interactively affect yield and pattern of monoterpenes in leaves of peppermint (*Mentha x piperita* L.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.58, p.7361-7367, 2010.
- BENITEZ, L.B.; SILVA, C. M.; L.; ALVARES, C. Utilização da hortelã-pimenta como agente no controle de infecções relacionadas à assistência à saúde (IRAS). **Scientia Plena**, Sergipe, v. 12, n. 126201, 2016.
- BRIAT, J. F.; RAVET, K. ARNAUD, N; DUC, C.; BOUCHEREZ, J.; TOURAINÉ, B.; CELLIER, F.; GAYMARD, F. New insights into ferritin synthesis and function highlight

a link between iron homeostasis and oxidative stress in plants. **Annals of Botany**, v. 105, n. 5, p. 811-822, 2010.

BRIAT, J.F.; DUBOS, C.; GAYMARD, F. Iron nutrition, biomass production, and plant product quality. **Trends Plant Sci.**, v. 20, p. 33-40, 2015.

BOULY, J. P.; SCHLEICHER, E.; DIONISIO-SESE, M, et al. Cryptochrome blue-light photoreceptors are activated through interconversion of flavin redox states. **Journal of Biological Chemistry**, 2007.

BROADLEY, M.; BROWN, P.; CAKMAK, I.; RENGEL, Z.; ZHAO, F. Function of nutrients: micronutrients. In: MARSCHNER, P., ed. *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*, 3.ed. London, Academic Press Elsevier, p. 191-248, 2012.

CHEN, L.; DING, C.; ZHAO, X.; XU, JUNXU.; MOHAMMAD, A. A.; WANG, S.; DING, Y. Differential regulation of proteins in rice (*Oryza saliva* L.) under iron deficiency. **Plan Cell Reports**, v. 34, n. 1 p. 83-96, 2015.

COSTA, A. G. CHAGAS, J. H.; PINTO, J. E. B. P.; BERTOLUCCI, S. K. V. Crescimento vegetativo e produção de óleo essencial de hortelã-pimenta cultivada sob malhas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 4, p. 534-540, 2012.

CURIE, C.; BRIAT, J.-B. Iron transport and signaling in plants. **Annual Review of Plant Biology**, v. 54, p. 183–206, 2003.

DALCORSO, G.; MANARA, A.; PIASENTIN, S.; FURINI, A. Nutrient metal elements in plants. **Metallomics**, v. 6, p. 1770–1788, 2014.

DAR, R. A.; SHAHNAWAZ, M.; QAZI, P. H. General overview of medicinal plants: A review. **The Journal of Phytopharmacology**, v. 6, n. 6, p. 349-351, 2017.

DEHSHEIKH, A. B.; SOURESTANI, M. M.; DEHSHEIKH, P. B.; VITALINI, S.; IRITI, M.; MOTTAGHIPISHEH, J. A Comparative Study of Essential Oil Constituents and Phenolic Compounds of Arabian Lilac (*Vitex trifolia* var. *Purpurea*): An Evidence of Season Effects. **Foods**, v. 8, p. 52, 2019.

DIXON, S. J.; STOCKWELL, B. R. The role of iron and reactive oxygen species in cell death. **Nature Chemical Biology**, v. 10, n. 1, p. 9-17, 2014.

FOURCROY, P.; SISÓ-TERRAZA, P.; SUDRE, D.; SAVIRÓN, M.; REYT, G.; GAYMARD, F.; BRIAT, J. F. Involvement of the ABCG37 transporter in secretion of scopoletin and derivatives by *Arahidopsis* roots in response to iron deficiency. **New Phytologist**, v. 201, n. 1, p. 155-167, 2014.

FRIGERI, R. B. C. **Relação entre raiz e parte aérea de plântulas de espécies arbóreas tropicais sob diferentes níveis de radiação solar**. 2007. 152f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007. Disponível em: < <http://repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/315143>. Acesso em: 4 nov. 2020.

GHOSH, S.; WATSON, A.; GONZALEZ-NAVARRO, O.E et al. Speed breeding in growth chambers and glasshouses for crop breeding and model plant research. **Nat Protoc**, v. 13, n. 12, p. 2944–63, 2018.

GORELICK, J.; BERNSTEIN, N. “Chemical and physical elicitation for enhanced cannabinoid production in cannabis” in *Cannabis sativa L. - botany and biotechnology*. eds. S. Chandra, H. Lata, and M. A. EISOHLY (Cham: **Springer International Publishing**, p. 439–456, 2017.

HÄNSCH, R.; MENDEL, R.R. Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl). **Curr Opin Plant Biol**, v. 12, n. 3, p. 259–66, 2009.

JAIN, A.; CONNOLLY, E.L. Mitochondrial iron transport and homeostasis in plants. **Frontiers in Plant Science**, v. 348, p. 1-6, 2013.

JEONG, J.; CONNOLLY, E. L. Iron uptake mechanisms in plants: functions of the FRO family of ferric reductases. **Plant Sci.**, v. 176, p. 709–714, 2009.

KHANUJA, S. P. S. et al. **Mint plant named ‘Cim Indus’**. 2003.

KLIEBENSTEIN, D.J.; OSBOURN, A. Making new molecules – evolution of pathways for novel metabolites in plants. **Curr Opin Plant Biol**, v. 15, p. 415–23, 2012.

KOBAYASHI, T.; NISHIZAWA, N. K. Iron Uptake, Translocation, and Regulation in Higher Plants. **Anual Review of Plant Biology**, v. 63, p. 131-52, 2012.

LOPES, J. P. et al. Análise de crescimento e trocas gasosas na cultura de milho em plantio direto e convencional. **Bragantia**, São Paulo, v. 68, n. 4, p.839-848, 2009.

LOPES, M. N. et al. Trocas gasosas e índices de crescimento em capim-braquiária manejado sob lâminas de irrigação e idades de crescimento. **Revista Agro@ambiente On-line**, Roraima, v. 7, n. 1, p. 10-17, 2013.

LÓPEZ-MILLÁN, A. F.; GRUSAK, M. A.; ABADÍA, A.; ABADÍA, J. Iron deficiency in plants: an insight from proteomic approaches. **Frontiers in Plant Science**, v. 4, n. 254, p. 1-8, 2013.

MAHENDER, A.; ALI, J.; PRAHALADA, G. D et al. Genetic dissection of developmental responses of agro-morphological traits under different doses of nutrient fertilizers using high-density SNP markers. **PLoS ONE**, v. 14, n. 7, 2019.

MALAQUIAS, G et al. Utilização na medicina popular, potencial terapêutico e toxicidade em nível celular das plantas *Rosmarinus officinalis L.*, *Salvia officinalis L.* e *Mentha piperita L.* (Família Lamiaceae). **RevInter Revista Intertox de Toxicologia, Risco Ambiental e Sociedade**, São Paulo, v. 7, n. 3, p. 50-68, 2014.

MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. **Fisiologia Vegetal**: Fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral. UFV, p.267-297, 2009.

MARSCHENER, P.; CROWLEY, D.; RENGEL, Z. Rhizosphere interactions between microorganisms and plants govern iron and phosphorus acquisition along the root axis e model and research methods. **Soil, Biology & Biochemistry**, v. 43, p. 883-894, 2011.

MARSCHENER, P. **Marschener' mineral nutrition of higher plants**. 3. ed. London: Elsevier Ltd., 2012.

MIRALLES, J.; MARTÍNEZ-SANCHEZ, J. J.; FRANCO, J. A. *Rhamnus alaternus* growth under four simulated shade environments: Morphological, anatomical and physiological responses. **Scientia Horticulturae**, v. 127, p.562-570, 2011.

PALA, N. A.; NEGI, A. K.; TODARIA, N. P. Traditional uses of medicinal plants of Pauri Garhwal Uttarkhand. **New York Science Journal**, v. 3, p. 61-65, 2010.

PAULUS, D. et al. Teor e qualidade do óleo essencial de menta (*Mentha arvensis* L.) produzida sob cultivo hidropônico e em solo. **Revista Brasileira de Planta Medicinal**, Campinas, v. 9, n. 2, p. 80-87, 2007.

PONS, T. L.; BERKEL, Y. J. Species-specific variation in the importance of the spectral quality gradient in canopies as a signal for photosynthetic resource partitioning. **Annals of Botany**, v. 94, p. 725-732, 2004.

POVH, J. A.; ONO, E. O. Rendimento de óleo essencial de *Salvia officinalis* L. sob ação de sob ação de reguladores vegetais. **Acta Scientiarum Biological Sciences**, Maringá, v. 28, n. 3, p. 189-193, 2006.

PUIG, S.; NURIA, ANDRE´S-COLA´S.; ANTONI, GARCÍ´A-MOLINA.; PENARRUBIA, L. Copper and iron homeostasis in Arabidopsis: responses to metal deficiencies, interactions and biotechnological applications. **Plant Cell Environ.**, v. 30, n. 3, p. 271–290, 2007.

ROODBARI, N.; ROODBARI, S.; GANJALI, A.; SADEGHINEJAD, F.; ANSARIFARD, M. Te effect of salinity stress on growth parameters and essential oil percentage of peppermint (*Mentha piperita* L.). **Int J Adv Biol Biom Res.**, v. 1, n. 9, p. 1009–15, 2013.

ROSA, Y. R. S. et al. Influência do horário de colheita no óleo essencial de diferentes partes da planta de dois genótipos de palmarosa (*Cymbopogon martinii*). **Scientia Plena**, Sergipe, v. 6, n.10, p.1-6, 2010.

ROUT, G. R.; SAHOO, S. Role of iron in plant growth and metabolism. **Reviews in Agricultural Science**, v. 3, p. 1-24, 2015.

SAHARKHIZ, M. J. et al. Chemical Composition, Antifungal and Antibiofilm Activities of the Essential Oil of *Mentha piperita* L. **International Scholarly Research Network**, v. 20, p. 6, 2012.

SÁNCHEZ-GONZÁLEZ, L.; VARGAS, M.; GONZÁLEZ-MARTÍNEZ, C.; CHIRALT, A. Cháfer, Use of essential oils in bioactive edible coatings: a review. **Food Engineering Reviews**, v. 3, p. 1–16, 2011.

SANTOS, H.S.; MESQUITA, F. M. R.; LEMOS, T. L. G.; MONTE, F.J.Q.; BRAZ FILHO, R. Diterpenos casbanos e acetofenonas de *Croton nepetaefolius* (Euphorbiaceae). **Química Nova**, v. 31, p. 601-604, 2008.

SELMAR, D.; KLEINWACHTER, M. Stress enhances the synthesis of secondary plant products: the impact of stress-related over-reduction on the accumulation of natural products. **Plant and Cell Physiology**, v.54, n. 6, p.817-826, 2013.

SINGH, R. Medicinal plants: A review. **Journal of Plant Sciences**, v. 3, n. 1-1, p. 50-55, 2015.

SIQUEIRA, J. B. V.; et al. Uso de plantas medicinais por hipertensos e diabéticos de uma estratégia saúde da família rural. **Revista Contexto & Saúde**, Ijuí, v. 17, n. 32, 2017.

SOUZA, M. A. A.; ARAUJO, O. J. L.; FERREIRA, M. A. F.; STARK, E. M. L. M.; FERNANDES, M. S.; SOUZA, S. R. Produção de biomassa e óleo essencial de hortelã em hidroponia em função de nitrogênio e fósforo. **Horticultura Brasileira**, Recife, v. 25, p. 41-48, 2007.

STEIN, R. J.; LOPES, S. I. G.; FETT, J. P. Iron toxicity in field-cultivated rice: contrasting tolerance mechanisms in distinct cultivars. **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, v. 26, n. 2, p. 135-146, 2014.

TAVISH, H.M.; HARRIS, D. An economic study of essential oil production in the UK: a case study comparing non-UK lavender/lavandin production and peppermint/spearmint production with UK production techniques and costs. For the Government Industry, Forum for Non-Food Crops. **The Scotch Parliament**, Edinburg 2002.

VERMA, R. S.; PANDEY, V.; PADALIA R. C.; SAIKIA, D.; KRISHNA, B. Chemical Composition and Antimicrobial Potential of Aqueous Distillate Volatiles of Indian Peppermint (*Mentha piperita*) and Spearmint (*Mentha spicata*). **Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants**, v. 17, n. 3, p. 258 - 267, 2011.

ZANDALINAS, S.I.; MITTLER, R.; BALFAGÓN, D.; ARBONA, V.; GÓMEZ CADENAS, A. Plant adaptations to the combination of drought and high temperatures. **Physiol Plant**, v. 162, n. 1, p. 2-12, 2018.

ZEHTAB-SALMASI, S.; HEIDARI, F.; ALYARI, H. Efeitos de microelementos e densidade de plantas na produção de biomassa e óleo essencial de hortelã-pimenta (*Mentha piperita* L.). **Plant Science Research**, v. 1, p. 24-26, 2008.

ZHANG, M.; ZHAO, D.; MA, Z.; LI, X.; XIAO, Y. Growth and photosynthetic capability of *Momordica grosvenori* plantlets grown photoautotrophically in response to light intensity. **HortScience**, v. 44, p. 1-7, 2009.