



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

MARCO DOS REIS BRUGNEROTTO

**BIOESTIMULANTES EM TOMATEIRO:
EFEITOS EM PARÂMETROS AGRONÔMICOS E INDUÇÃO DE
RESISTÊNCIA**

Londrina
2022

MARCO DOS REIS BRUGNEROTTO

**BIOESTIMULANTES EM TOMATEIRO:
EFEITOS EM PARÂMETROS AGRONÔMICOS E INDUÇÃO DE
RESISTÊNCIA**

Projeto de Pesquisa apresentado ao Programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Entomologia.

Orientador: Prof. Dr. Maurício Ursi Ventura.
Co-orientador: Fernando Teruhiko Hata

Londrina
2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

Reis Brugnerotto, Marco.

Bioestimulantes em Tomateiro: Efeitos em Parâmetros Agronômicos e Indução de Resistência / Marco Reis Brugnerotto. - Londrina, 2022.
94 f.

Orientador: Mauricio Ursi Ventura.

Coorientador: Fernando Teruhiko Hata.

Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2022.
Inclui bibliografia.

1. micorriza - Tese. 2. resistência sistêmica induzida - Tese. 3. metabólitos secundários - Tese. 4. zingibereno - Tese. I. Ursi Ventura, Mauricio. II. Teruhiko Hata, Fernando. III. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

CDU 63

MARCO DOS REIS BRUGNEROTTO

**BIOESTIMULANTES EM TOMATEIRO:
EFEITOS EM PARÂMETROS AGRONÔMICOS E INDUÇÃO DE
RESISTÊNCIA**

Projeto de Pesquisa apresentado ao Programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Entomologia.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Orientador Mauricio Ursi Ventura
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof. Dr. Fernando Teruhiko Hata
Universidade Estadual de Maringá - UEM

Prof. Admilton Gonçalves de Oliveira Junior
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof. Antonio José Radi
Instituto Federal de Educação – Barretos

Prof. Dr. Augusto Cesar P. Pomari Fernandes
Universidade Federal Fronteira Sul - UFFS

Londrina, 21 de fevereiro de 2022.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pois sempre coloquei todos os meus projetos em Suas mãos.

Agradeço a minha esposa Renata por me incentivar e motivar.

Agradeço ao meu pai Antonio Tadeu Brugnerotto e minha mãe Nelly dos Reis Brugnerotto por todo amor e carinho, bem como exemplo de vida.

Agradeço aos meus amigos Rivaldo Dias do Prado, in memoriam, e sua Esposa Fabiane Buranello por me acolher em sua casa e serem modelos para toda minha vida.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Maurício Ursi Ventura por acreditar e confiar em meu potencial.

Agradeço a Universidade Estadual de Londrina por disponibilizar toda estrutura necessária para a realização desse trabalho.

Agradeço a todos os professores ligados a pós-graduação da UEL pelos ensinamentos, em especial ao Prof. Dr. Amarildo Pasini pelo aprendizado e dedicação.

Agradeço aos Doutores Fernando Teruhiko Hata, Admilton Junior e Antonio Radi pela contribuição acadêmica durante o mestrado.

Agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pelo apoio financeiro.

Agradeço a todos os funcionários do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual de Londrina pela dedicação a manutenção dos experimentos e a todos que contribuíram de maneira direta e indireta para a realização desse trabalho.

A Renata Santos Brugnerotto e
minha filha Laura por me
inspirarem a realizar
esse trabalho.

BRUGNEROTTO, Marco dos Reis. **Bioestimulantes em tomateiro: Efeitos em parâmetros agronômicos e indução de resistência.** 2022. 94 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2022.

RESUMO

O tomateiro é acometido por ataque de várias doenças e pragas durante o ciclo, às quais podem ocasionar significativas perdas na quantidade e na qualidade dos frutos. Dentre as pragas e doenças de importância, destacam-se a mosca-branca, o ácaro-vermelho e o oídio. A principal forma de controle de insetos, ácaros e fungos que afetam a cultura consiste na pulverização de agrotóxicos, estratégia esta que, além de elevar sobremaneira o custo de produção, traz impactos negativos para o meio ambiente e para a saúde humana. Neste contexto, substâncias alternativas inócuas ou de baixa toxicidade, denominadas bioestimulantes agrícolas, vem sendo pesquisadas de modo a compor práticas alternativas que amenizem os efeitos nocivos oriundos do uso contínuo de moléculas tóxicas. Assim, objetivou-se avaliar o efeito da aplicação exógena de bioestimulantes, sobre enzimas e aleloquímicos relacionados à resistência e parâmetros fitotécnicos e fisiológicos em tomateiro, na presença do ácaro-vermelho, da mosca-branca e do oídio. Utilizou-se o híbrido de tomateiro BRS-Nagai em experimento em arranjo fatorial 2x5,DIC, utilizando delineamento em blocos casualizados, onde o primeiro fator foi a presença e ausência do fungo micorrízico arbuscular *Rhizophagus clarus* (FMA's) enquanto que o segundo fator foi a utilização de quatro bioestimulantes: testemunha (T), Ácido salicílico (AS), fertilizante silicatado (dióxido de silício – 68,2% + carbonato de Cálcio – 31,8%) (FS), mistura de biofertilizantes em pulverização (FSCA+SFA) e *Bacillus velezensis* (BV). Foram avaliados teores de proteínas totais solúveis, atividade das enzimas fenilalanina amônia-liase, catalase, peroxidase, teor de zingibereno, quantificação de tricomas, fotossíntese, transpiração, clorofila, massa fresca de frutos, altura das plantas, distância entre cachos e a infestação de adultos de mosca-branca, ácaro vermelho e do oídio. Foi observado que uso de substrato inoculado com o FMA proporcionou incremento de proteínas totais solúveis reduzindo a atividade da catalase e peroxidase. A aplicação de *Bacillus velezensis* aumentou os teores foliares de zingibereno. Já a mistura de biofertilizantes ou *B. velezensis* elevaram o índice Falker, sendo que alterações significativas não foram detectadas para transpiração e fotossíntese. FMA's promoveram aumento da altura das plantas, bem como a distância entre cachos, estimularam aumento no número de tricomas, aumentaram o teor de zingibereno quando associados com bacilos, reduziu a população de mosca-branca em sinergismo com a mistura de bioestimulantes (FSCA + SFA). Também promoveu redução na quantidade de ácaros em associação com AS e reduziu a incidência de oídio no tratamento isolado e associado ao tratamento com mistura de biofertilizantes.

Palavras-chave: micorriza; resistência sistêmica induzida; metabólito secundário; zingibereno; terpeno.

BRUGNEROTTO, Marco dos Reis. **Biostimulants in tomato: Effects on agronomic parameters and resistance induction.** 2022. 94 p. Thesis Project (Doctor's Degree in Agronomy) - State University of Londrina, Londrina, 2022

ABSTRACT

The tomato is attacked by several diseases and pests during the cycle, causing damage of substantial economic importance. Among the most important pests and diseases, whitefly, red mite and powdery mildew stand out. The main way to control this key pest has been through chemicals, but with low efficiency and high cost. As an alternative, the use of viable alternative methods, one should evaluate new pest control methods. Thus, the objective was to evaluate the effect of exogenous application of biostimulants, through tomato seed treatment on enzymes and allelochemicals related to resistance, phytotechnical and physiological parameters in tomato, and on the occurrence of red mite, whitefly and powdery mildew. BRS-Nagai tomato seeds were treated using a 2x5 factorial scheme, where the first factor was the presence and absence of the arbuscular mycorrhizal fungus *Rhizophagus clarus* (FMA's) while the second factor was the use of five biostimulants: control (T) , Salicylic Acid (AS), Silicate Fertilizer (Silicon Dioxide – 68.2% + Calcium Carbonate – 31.8%) (FS), Biofertilizer Mixture Spray (FSCA+SFA) and *Bacillus velezensis* (BV). Total soluble proteins, activity of phenylalanine ammonia-lyase, catalase, peroxidase, zingiberene content, quantification of trichomes, photosynthesis, transpiration, chlorophyll, fruit mass, plant height and distance between clusters were evaluated. The experiments were carried out in the greenhouse of the State University of Londrina, in completely randomized blocks with five replications, with tests of normality, homoscedasticity, comparison of means and Spearman correlation. It was observed that the use of substrate inoculated with FMA provided an increase in total soluble proteins and reduced catalase and peroxidase activity. The application of *Bacillus velezensis* increased zingiberene foliar contents. The mixture of biofertilizers or *B. velezensis* increased the Falker index, and significant changes were not detected for transpiration and photosynthesis. FMA's promoted an increase in plant height, as well as the distance between clusters, stimulated an increase in the number of trichomes, increased zingiberene content when associated with bacilli, reduced the amount of whitefly in synergism with the mixture of biostimulants (FSCA + SFA) in mixture. It also promoted a reduction in the number of mites in association with AS and reduced the incidence of powdery mildew in the isolated treatment and associated with the treatment with a mixture of biofertilizers.

Key words: mycorrhiza; induced systemic resistance; secondary metabolite; zingiberene; terpene.

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO 1

- Figura 1** - Teores de proteínas em tomateiros submetidos a diferentes tratamentos, inoculados ou não com FMA39
- Figura 2** - Rota oxidativa do ácido cítrico41
- Figura 3** - Teor de zingibereno em tomateiro submetido a diferentes tratamentos, inoculados ou não com FMA41
- Figura 4** - Correlação de Spearman entre proteínas x catalase, proteínas x peroxidase e catalase x peroxidase42

ARTIGO 2

- Figura 1** - Índice Falker de folhas de tomateiro49
- Figura 2** - Massa fresca média por fruto (MFMF) de tomateiros submetidos a diferentes tratamentos51
- Figura 3** - Média de altura de planta de tomateiro inoculadas ou não com micorriza, e tratadas com diferentes bioestimulantes.....52
- Figura 4** - Média de altura do 1º cacho em tomateiros submetidos a diferentes tratamentos na presença e ausência de FMA53
- Figura 5** - Média de altura entre 1º e 2º cachos em tomateiros submetidos a diferentes tratamentos na presença e ausência de FMA54
- Figura 6** - Média da distância entre 2º e 3º cachos em tomateiros submetidos a diferentes tratamentos na presença e ausência de FMA.....55
- Figura 7** - Tomateiros tratados com diferentes bioestimulantes na presença e ausência de fungos micorrízicos arbusculares57

ARTIGO 3

- Figura 1** - Número de tricomas totais em tomateiros submetidos a diferentes tratamentos inoculados ou não com FMA65
- Figura 2** - Número de moscas-brancas em tomateiros submetidos a diferentes tratamentos inoculados ou não com FMA67
- Figura 3** - Número de ácaros (12/02) em tomateiros submetidos a diferentes tratamentos inoculados ou não com FMA68

Figura 4 -	Número de ácaros (27/02) em tomateiros submetidos a diferentes tratamentos inoculados ou não com FMA	68
Figura 5 -	Correlação de Spearman entre: número de tricomas x número de mosca-branca; teor de zingibereno x número de mosca-branca; teor de zingibereno x número de ácaros; número de tricomas x número de ácaros	69
Figura 6 -	Microscopia eletrônica de varredura em folhas de tomateiro submetidas a diferentes tratamentos	70
Figura 7 -	Severidade de oídio em folhas de tomateiro submetidas a diferentes tratamentos inoculados ou não com FMA	72

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Figura 1 -	Mapa de calor mostrando relações entre tratamentos e variáveis em experimento com micorrizas associadas ou não a outros bioestimulantes	74
Figura 2 -	Representação gráfica de análise dos componentes principais mostrando associação entre tratamentos (vetores) e variáveis (pontos)	75
Figura 3 -	Mapa de calor representando correlação de Pearson ($p < 0.05$) entre variáveis analisadas em tomateiro. Círculos em coloração azul representam correlação positiva e em vermelho correlação negativa.....	75
Figura 4 -	Dendrograma obtido pelo método UPGMA, a partir das medidas de dissimilaridade entre tratamentos em tomateiro, baseado na distância Euclidiana.....	76

LISTA DE TABELAS

ARTIGO 1

- Tabela 1** - Efeito dos diferentes tratamentos em tomateiros sobre as proteínas totais, enzimas relacionadas à resistência e zingibereno.....39

ARTIGO 2

- Tabela 1** - Fotossíntese, Transpiração, Índice Falker, Massa fresca média por tratamento (MFMT) e Massa fresca média por fruto (MFMF) em tomateiros submetidos a diferentes tratamentos.....50
- Tabela 2** - Altura de planta (AP); altura do primeiro cacho (Alt 1º CH); distância entre o primeiro e o segundo cachos (1º-2º CH) e distância entre o segundo e terceiro cachos (2º-3º CH) em plantas de tomateiro submetidas a diferentes tratamentos56

ARTIGO 3

- Tabela 1** - Número de adultos de mosca-branca *Bemisia tabaci* e formas móveis de Ácaro-Vermelho *Tetranychus evansi*, e incidência de Oídio *Oidium lycopersici* em tomateiros submetidos e diferentes tratamentos66

LISTA DE ABREVIATURAS

AP	Altura de planta
AS	Ácido Salicílico
BV	<i>Bacillus velezensis</i>
FAL	Fenilalanina Amônia-liase
FMA	Fungos Micorrízicos Arbusculares
FS	Fertilizante silicatado
FSCA + SFA	Mistura de biofertilizantes
HPLC	Cromatografia Líquida de alta performance
MeSA	Metil-Salicilato
MFMF	Massa fresca média por fruto
MFMT	Massa fresca média por tratamento
Si	Silício
T	Testemunha
TMV	Vírus do mosaíco do tabaco
ZGB	Zingibereno

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVO	16
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3.1	TOMATEIRO	17
3.1.1	Aspectos e Condições Gerais da Cultura	17
3.1.2	Mecanismos de Resistência em Tomateiros	18
3.1.3	Tricomas	19
3.2	ALELOQUÍMICOS.....	20
3.2.1	Terpenos	21
3.3	PRAGAS E DOENÇAS RELACIONADAS AO TOMATEIRO	22
3.3.1	Mosca-Branca	23
3.3.2	Ácaro-Vermelho.....	25
3.3.3	Oídio	25
3.4	RESISTÊNCIA INDUZIDA EM TOMATEIRO.....	26
3.4.1	Ácido Salicílico	26
3.4.2	Silício.....	29
3.4.3	Micorrizas	29
3.4.4	Quitosana	30
3.4.5	Algas.....	31
3.4.6	Bacillus Velezensis	31
3.5	ENZIMAS RELACIONADAS A RESISTÊNCIA DE PLANTAS	32
3.5.1	Proteínas Totais Solúveis	32
3.5.2	Peroxidase e Catalase.....	32
3.5.3	Fenilalanina Amônia-Liase	33
4	ARTIGO 1	34
5	ARTIGO 2	44
6	ARTIGO 3	58

MATERIAL E MÉTODOS.....60

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS78

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos maiores produtores de hortaliças. São cultivados, aproximadamente, um milhão de hectares que produzem cerca de 25 milhões de toneladas, o que corresponde a 3,5% do PIB do agronegócio brasileiro. Dentre as hortaliças, o tomateiro (*Solanum lycopersicum*) se destaca com a maior produção, cerca de 3,9 milhões de toneladas em aproximadamente 55 mil hectares (FAO 2020).

A cultura do tomateiro é caracterizada pelo grande uso de agrotóxicos, em função da suscetibilidade da espécie a diversas pragas e doenças. O cultivo de tomateiros pode ser uma atividade de elevada complexidade e risco econômico devido à ocorrência dessas pragas e patógenos que causam injúrias e, eventualmente, danos. Esses danos podem ser potencializados pelo controle ineficaz, porque são feitos quase que exclusivamente com agroquímicos que podem perder sua eficiência (LOPES et al., 2005).

Dentre a gama de espécies que danificam o tomateiro, destacam-se os vetores de viroses, sendo a mosca-branca [*Bemisia tabaci* (Gennadius) Biótipo B], atualmente, a de maior ocorrência; e os ácaros, sendo o ácaro-rajado (*Tetranychus urticae*) e ácaro-vermelho (*Tetranychus evansi*), as espécies mais prevalentes. Várias doenças fúngicas também ocorrem na cultura. Uma das mais importantes, o oídio (*Oidium* spp.), tornou-se uma doença de grande ocorrência e dificuldade de controle (OLIVEIRA et al., 2020).

A mosca-branca é uma das principais pragas, e seu controle é dificultado por se localizar na face abaxial das folhas (VILLAS BÔAS et al., 1997). Podem ocasionar perdas significativas na produção de tomate, como amarelecimento irregular dos frutos e alterações na consistência da polpa (CARNEIRO et al., 1999; GALLO et al., 2002). Além dos danos diretos, proporcionam condições para o desenvolvimento de fumagina e transmitem viroses.

O ácaro-vermelho também se localiza na face inferior das folhas. Se concentra na parte mediana da planta, provocando além inicialmente o amarelecimento e, posteriormente, secamento. Essa desfolha acaba diminuindo a área fotossinteticamente ativa, expondo os frutos ao sol e descaracterizando-os quanto à sua cor vermelha quando maduros (MORAES; FLETCHMANN, 2008).

Quando o índice de infestação ultrapassa 15% das folhas, os danos provocados fazem a produção cair significativamente (FLECHTMANN, 1989).

Já a característica mais comumente observada na presença do oídio (*Oidium lycopersici*), é a presença, em grande quantidade, das estruturas fúngicas na parte adaxial das folhas, que se assemelham a um pó fino e branco, podendo causar torção das folhas, quedas de folhas, flores e frutos e deformação nos frutos (LOPES; ÁVILA, 2005).

Ao longo de seu processo evolutivo, as plantas desenvolveram mecanismos de adaptação e de defesa ao estresse provocado por fatores bióticos e abióticos (PIETERSE et al., 2005; SHEWRY; WIT, 2007).

Tais defesas, além de serem ativadas por contato com fitoparasitas, também podem ser induzidas como respostas a estresses abióticos e bióticos (KARBAN; BALDWIN, 1997). Defesas essas que permitem que a planta fique em vantagem, pois o tempo de resposta a ataques fica reduzido, aumentando a resistência aos insetos e patógenos (AGRAWAL et al., 1999). Também podem ser induzidas pela aplicação exógena de substâncias químicas que simulam o efeito de infecção. Muito embora o ácido salicílico seja um componente natural das plantas, sua aplicação sobre os vegetais pode favorecer a indução de resistência. O mesmo ocorre com outros compostos que agem como “elicitores”, como a quitosana e o silício (VAN LOON, 1985). Microrganismos, como fungos e bactérias, também podem induzir a resistência nas plantas tanto pela produção de metabólitos secundários como por mudanças estruturais morfoanatômicas.

Uma vez induzida e ativadas as defesas vegetais, componentes oriundos do metabolismo secundário são produzidos, como o zingibereno. O aumento desse sesquiterpeno pode ocorrer via aplicação de estimuladores envolvidos no sistema de defesa das plantas (FRANCESCHI et al., 2002).

Substâncias orgânicas e não orgânicas assim como microrganismos podem ter efeitos bioestimulantes, tais com ácidos húmicos, hidrolisados proteicos, extratos de algas, fungos micorrízicos e bactérias fixadoras de nitrogênio. Bioestimulantes microbianos e não microbianos aumentam a eficiência de nutrientes, performance da planta e condição fisiológica, resiliência para estressores ambientais e estimula microbioma de plantas. Recentemente, estudos tem evidenciado a possibilidade de sinergismo de alguns bioestimulantes, quando em mistura (ROUPHAEL; COLA 2018).

Desta forma, estudos que associem diversos bioestimulantes se fazem pertinentes à medida que os efeitos individuais possam ser potencializados. Alguns desses bioestimulantes têm sido estudados na Universidade Estadual de Londrina visando atingir estes objetivos. O fungo micorrízico arbuscular *Rhizophagus clarus* tem sido testado com resultados promissores em várias culturas (ALEXANDRE; HENRIQUE; SILVA; MERCEDES; SILVA; CELY 2021; BARAZETTI et al, 2019; KESHAVAZ et al. 2019) inclusive em tomateiro (RADI, 2021).

O ácido salicílico tem também sido objeto de avaliação e mostrado potencial para incrementar a resistência tanto para fatores bióticos (BRUGNEROTTO, 2018) como abióticos (KESHAVAZ et al. 2019). Do mesmo modo, a combinação de extrato de algas *Ascophyllum nodosum*, silício e D-glucosamina já se mostrou efetiva, produzindo resultados em várias culturas, inclusive tomateiro (VENTURA, 2021, dados ainda não publicados). *Bacillus velezensis*, por sua vez, é um microrganismo indutor de resistência e promotor de crescimento (TEIXEIRA et al. 2021).

Sendo assim, realizaram-se estudos em três etapas, que objetivaram estudar a influência de bioestimulantes, principalmente o fungo micorrízico arbuscular *R. clarus*, isolado ou em associação com outros bioestimulantes, em parâmetros relacionados à resistência das plantas a agentes bióticos (enzimas e aleloquímico zingibereno); em aspectos fitométricos e fisiológicos; e na ocorrência de mosca-branca, ácaro-vermelho e oídio.

2 OBJETIVO

Geral

Avaliar o efeito de bioestimulantes sobre enzimas e aleloquímicos relacionados a resistência de plantas a pragas e doenças; em parâmetros fitiotécnicos e fisiológicos em tomateiro; e na ocorrência do ácaro-vermelho, mosca-branca e oídio em plantas conduzidas em vasos em casa-de-vegetação.

Específicos

Avaliar o efeito, em tomateiros, de promotores e indutores de resistência nos seguintes parâmetros:

- Teor de proteínas totais solúveis;
- Atividade das enzimas catalase, peroxidase, fenilalanina amônia-liase;
- Teores de zingibereno;
- Taxa de fotossíntese;
- Teor de clorofila;
- Altura das plantas
- Distância entre cachos
- Produção
- Incidência do ácaro-vermelho;
- Incidência do oídio;
- Incidência da mosca-branca;

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 TOMATEIRO

3.1.1 Aspectos e Condições Gerais da Cultura

O tomateiro é uma dicotiledônea pertencente à família *Solanaceae*, gênero *Solanum*, Secção *Lycopersicon*, espécie *Solanum lycopersicum* L.

No Brasil, são cultivados aproximadamente 55 mil hectares, rendendo em torno de 3,9 milhões de toneladas de tomate (FAO, 2020). Cada hectare gera até seis empregos diretos, empregando em torno de 10% da população nacional (TREICHEL et al., 2016).

O tomateiro pode suportar temperaturas que variam de 10°C a 34°C. A temperatura ideal é de aproximadamente 21°C, em ambientes de baixa umidade relativa e baixos índices pluviais (GIORDANO; ARAGÃO; BOITEUX, 2003). O melhor desenvolvimento ocorre em solos profundos areno-argiloso que apresentam em torno de 3% de matéria orgânica (FONTES, 2000).

Pode atingir, em média, dois metros de altura. A primeira colheita pode acontecer entre 45 e 55 dias após o florescimento, apresentando várias formas, tamanhos e cores de frutos, dependendo da cultivar (NAIKA et al., 2006).

O consumo de tomates pela população contribui para o estabelecimento e manutenção da saúde, pois são ricos em vitaminas, aminoácidos essenciais, açúcares e fibras dietéticas. Contém grandes quantidades de vitaminas B e C e ferro, sendo que o tomate amarelo contém maior teor de vitamina A e o tomate vermelho é rico em licopeno, importante na prevenção de câncer de próstata, ovário e estômago (CARVALHO et al., 2005; STRINGHETA et al., 2014).

O tomate produzido no Brasil é direcionado para o consumo in natura e processamento. A produção é contabilizada de maneira geral para os dois segmentos. De acordo com a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura, no mundo, foram produzidos 180 milhões de toneladas com área total de cultivo de 5 milhões de hectares e produtividade de aproximadamente 34 toneladas por hectare (FAO, 2020).

3.1.2 Mecanismos de Resistência em Tomateiros

Apesar de existirem várias cultivares e híbridos de tomateiro disponíveis no mercado brasileiro, estes são, em sua maioria, suscetíveis ao ataque de pragas e doenças. O potencial de danos da ocorrência combinada de insetos, ácaros, fungos e bactérias, somado à necessidade de uma boa aparência do produto exigida por parte do consumidor final, faz com que a aplicação de compostos químicos seja recorrente e necessária. Isso contribui para o aumento dos custos de produção, danos ao meio ambiente, ao consumidor e ao produtor pelos resíduos tóxicos (LEITE, 2004).

Embora o controle químico seja necessário para se atingir patamares de produtividade remuneradores para o produtor, faz-se de grande importância, pelas consequências mencionadas, a busca de novos métodos e estratégias de controle, como o uso de substâncias menos tóxicas e/ou que possam induzir a defesa natural das plantas, reduzindo a população de pragas e fitopatógenos, sem causar desequilíbrios no ecossistema e elevação de custos para o agricultor (VENDRAMIM, 1990).

A resistência pode estar ligada a fatores físicos, como a presença de tricomas foliares, e químicos, como substâncias tóxicas que alteram o comportamento e/ou o metabolismo das pragas (NORRIS; KOGAN, 1980).

O tomateiro pode apresentar vários tipos de tricomas, como glandulares ou não glandulares, uni ou pluricelulares, células da base diferenciadas ou não. O topo é considerado a região secretora que pode ser uni ou pluricelular. As células do topo ou cabeça são revestidas pela cutícula (ARAGÃO; DANTAS; BENITEZ, 2000; CUTTER, 1986), e o gênero *Solanum* pode apresentar quatro tipos de tricomas não glandulares (III, Va, Vb, VIII) e cinco variações de tricomas glandulares (I, IV, VIa, VIc, VII) (LUCKWILL, 1943).

Os tricomas glandulares secretam exsudatos, tais como flavonoides glicosilados, compostos fenólicos nitrogenados, metil cetonas e sesquiterpenos, como o zingibereno (LIN et al., 1987; JUVIK et al., 1988).

Correlações positivas entre o teor de zingibereno e os tricomas glandulares tipos IV e VI (FREITAS et al., 2002) e resistência a pragas, indicam a possibilidade de obtenção de tomateiros resistentes por meio de mecanismo de seleção indireta para alto teor de zingibereno (GONÇALVES et al., 2006).

3.1.3 Tricomas

Tricomas, que deriva do grego “trichos” e tem o significado de “pelos”, é a identificação das estruturas que são formadas a partir da epiderme de órgãos caulinares em muitas plantas e podem ser uni ou pluricelulares, classificados em glandulares e não-glandulares, onde esses são conhecidos também como tricomas tectores (HÜLSKAMP, 2004).

Tais estruturas atuam na proteção a diversos tipos de estresses abióticos e bióticos, protegendo as estruturas da planta contra o ataque de pragas (MAURICIO; RAUSHER, 1997).

Os tricomas também são definidos como apêndices que evoluem da epiderme dos tecidos aéreos, podendo variar em forma e tamanho de uma espécie para outra, e são classificados de acordo com formato e presença ou ausência de glândula secretora (glandulares ou não-glandulares/tectores) (GLAS et al., 2012).

Podem desempenhar diversas funções, como diminuição da desidratação, resistência a estresses abióticos, como variações de temperaturas, luminosidade e radiação, bem como proteção frente ao ataque de patógenos e insetos (YANG; YE, 2013).

Levando em consideração a resistência contra insetos-praga, é conhecido que os tricomas atuam de duas formas: barreira física, por ação dos tricomas não-glandulares, que podem dificultar o pouso até a locomoção de pequenos artrópodes; e barreira química, desempenhada pelos tricomas glandulares que secretam substâncias deterrentes/repelentes e/ou tóxicas (LARA, 1991).

Pensando nisso, faz-se necessário estudar a resistência mediada por tricomas da planta hospedeira. Trata-se de abordagem atual que tem grande potencial na redução de utilização de agrotóxicos, aumentando a sustentabilidade do sistema produtivo e reduzindo os efeitos negativos relacionados às substâncias químicas (SIMMONS; GURR, 2005).

3.2 ALELOQUÍMICOS

Todas as substâncias orgânicas que não são produzidas pelas plantas por meio do metabolismo primário, são caracterizadas como metabólitos secundários, sendo que um deles são os sesquiterpenos originados da rota metabólica do ácido mevalônico (REZENDE; PINTO, 2003).

A Sociedade Internacional de Alelopatias define “alelopatia” como “qualquer processo envolvendo metabólitos secundários (aleloquímicos) produzidos por plantas que influencia o crescimento de sistemas agrícolas” (ALLEM, 2010).

A síntese dos aleloquímicos pode variar quantitativa e qualitativamente de acordo com as espécies, local de ocorrência e ciclo de cultivo, pois a produção pode ser ativada por diferentes tipos de estresses aos quais as plantas estão expostas (FERREIRA; ÁQUILA, 2000).

Os aleloquímicos podem ser liberados pelas plantas por lixiviação e volatilização, a partir dos tecidos pela exsudação por tricomas e decomposição de resíduos da planta (WEIR; PARK; VIVANCO, 2004).

Os terpenóides são considerados compostos aromáticos, e acabam sendo volatilizados das folhas, podendo ser absorvidos por outras plantas. Atuam sobre plantas vizinhas por meio dos próprios vapores ou condensados no orvalho, e quando alcançam o solo podem ser absorvidos pelas raízes (DIAS DE ALMEIDA et al., 2008).

As substâncias formadas a partir do metabolismo secundário apresentam os mais variados efeitos, benéficos ou maléficos, dependendo do tipo, grupo funcional, propriedade química e concentração no meio estudado, bem como das plantas e/ou artrópodes alvos (BARBOSA et al., 2005; GOLDFARB et al., 2009).

A expressão dos aleloquímicos é de grande importância na ação contra ataques, que podem inibir ou estimular o crescimento e desenvolvimento das plantas e pragas. Tais compostos químicos podem ser usados como alternativa aos agrotóxicos, o que incentiva a pesquisa dessas substâncias como substitutos dos mesmos (WALLER et al., 1999).

Existem várias substâncias indutoras de produção dos metabólitos secundários como o ácido jasmônico, auxina, etileno, ácido salicílico e metil-salicilato, sendo que estes dois últimos apresentam atividade fitorreguladora. Estão envolvidos em processos de desenvolvimento, bem como na resposta da planta a

artrópodes e patógenos, induzindo expressão de genes ligados a inibição de proteases (FARMER; RYAN, 1992).

3.2.1 Terpenos

Os terpenos, também conhecidos como terpenóides, são classificados de acordo com o número de isoprenos constituintes, a exemplo dos monoterpenóides, sesquiterpenóides, diterpenóides, triterpenóides, tetraterpenóides e politerpenóides (OLIVEIRA et al., 2003).

Os sesquiterpenos atuam como fitoalexinas (antibióticos produzidos pelas plantas em resposta ao ataque de microrganismos) e como agentes repelentes de herbívoros, apresentando a fórmula molecular $C_{15}H_{24}$. Podem ser acíclicos ou conter anéis (TAIZ; ZEIGER, 2017).

A classe de terpenos tem fórmula molecular $(C_5H_8)_n$, e são agrupados pelo número dessas subunidades: monoterpenos (2), sesquiterpenos (3), diterpenos (4), triterpenos (6), tetraterpenos (8), além dos politerpenos e dos meroterpenos. Alguns terpenos são partes do metabolismo preliminar: o ácido giberélico e o ácido abscísico são reguladores do crescimento da planta. Alguns exemplos de monoterpenos: citral, cânfora, mentol e limoneno; sesquiterpenos: farnesol e zingibereno; diterpenos: fitol e vitamina A1; triterpeno: esqualeno; tetraterpeno: caroteno (TAIZ; ZEIGER, 2017).

O isopreno (hemiterpenos) é uma substância volátil associada a atividades fotossintéticas e, acredita-se que são produzidos por certas plantas para proteção contra altas temperaturas. O isopreno por sua vez, participa em certa parte na produção do ozônio (MONSON et al., 2013).

A rota biossintética inicia por condensação de moléculas de AcCoA (acetilcoenzima A), dando acetoacetil-CoA na qual se condensa com outra molécula de AcCoA originando 3-hidroxi-3-metilglutaril-CoA. Este composto se reduz para converter-se em ácido mevalônico (3,5-dihidroxi-3-metilvaleriânico) e posteriormente por fosforilação e descarboxilação, em isopentenilpirofosfato (IPP), no qual, por isomerização dá lugar a dimetilalil-pirofosfato (DAMPP), composto altamente reativo. A condensação, mediante união destes dois últimos compostos origina o geranyl-pirofosfato (GPP) que possui 10 átomos de carbono e é precursor de um grande número de princípios ativos vegetais (monoterpenos, iridídeos, alguns alcalóides,

etc). A conexão a este GPP de novas unidades de IPP origina moléculas de maior peso molecular, aumentando o número de carbonos de cinco em cinco: sesquiterpenos (C-15), diterpenos (C-20), triterpenos (C-30) (TAIZ; ZEIGER, 2017).

Um dos aleloquímicos presentes nos tricomas é o terpeno zingibereno, que ocorre no ápice de tricomas glandulares do tipo VI (CARTER; SACALIS; GIANFAGNA, 1988). Recebe essa denominação por ser um dos constituintes dos 20 óleos essenciais de raízes de gengibre (CHEN; HO, 1998). Porém existem associações desses terpenos nos tricomas glandulares do tipo IV, sugerindo que teores elevados de zingibereno conferem maior resistência a pragas, promovendo a diminuição de mobilidade dos ácaros nas folhas (MALUF; CAMPOS; CARDOSO, 2001).

Considerando ainda a relação dos tricomas glandulares e a resistência a insetos e ácaros, conhecer os vários tipos de tricomas encontrados nos tomateiros é de grande importância para os programas de melhoramento genético em tomateiros.

3.3 PRAGAS E DOENÇAS RELACIONADAS AO TOMATEIRO

As plantas cultivadas são atacadas por pragas e doenças, e algumas pragas acabaram desenvolvendo tolerância ou resistência a certas substâncias. Assim, recomenda-se a prática do Manejo Integrado de Pragas (MIP) que prioriza o uso de produtos químicos não prejudiciais (NAIKA et al., 2006).

Há artrópodos-pragas que, além de causar danos mecânicos nas plantas, são vetores de doenças. Entre esses, estão os pulgões (*Aphidae*), tripses (*Thripidae*), e a mosca-branca (*Bemisia tabaci*).

Pulgões atuam colonizando brotos das plantas, sugando seiva e causando deformações apicais. Excretam substâncias açucaradas na superfície das folhas e frutos permitindo desenvolvimento da fumagina (GRAVENA; BENVENGA, 2003).

Os tripses apresentam comprimento de apenas 0,5 até 2 mm. Os adultos são asados, ovipositam nas folhas, com surgimento de larvas após 10 dias da oviposição. As larvas e os tripses adultos sugam a seiva das folhas, provocando o aparecimento de manchas prateadas na superfície das folhas afetadas. Os tripses adultos depositam exsudatos nas folhas. Algumas espécies são vetores do vírus do bronzeamento do tomateiro (MICHEREFF FILHO et al., 2012).

As moscas-brancas causam problemas durante estações secas. Algumas medidas podem ser adotadas, em conjunto, para controlar ou reduzir sua população como estimular a presença de predadores naturais: usar cultivares que apresentam algum fator de resistência (tricomas e compostos voláteis), consorciação e uso de inseticidas. A mosca-branca transmite alguns vírus como Geminivírus, além de causar amadurecimento desuniforme causada por toxinas injetadas (MEDEIROS et al., 2005).

Os ácaros tem tamanho inferior a um 1 mm, de cor amarela a vermelha ou laranja. Põem ovos no lado inferior das folhas, e os adultos sugam a seiva das folhas, tornando-os amarelos e secos. Os ácaros podem fazer uma teia de fios finos, semelhantes à teia de aranha, e durante as estações mais secas que os danos causados pelos ácaros são mais graves (SOUZA; REIS, 2003).

3.3.1 Mosca-Branca

As moscas-brancas pertencem à ordem Hemiptera, sub-ordem Sternorrhyncha e família Aleyrodidae (GALLO et al., 2002), possuindo aproximadamente 161 gêneros e 1556 espécies catalogadas (MARTIN; MOUND, 2007). A subfamília Aleyrodinae apresenta *Bemisia* como o principal gênero, sendo o mais prejudicial e grandemente distribuído e estudado em todo o mundo (HAJI et al., 2004).

São insetos fitófagos, sugadores de seiva, apresentam aparelho bucal do tipo picador-sugador (VILLAS BÔAS et al., 1997). As mandíbulas e as maxilas formam um tubo duplo que é inserido até o floema, permitindo a retirada da seiva elaborada que é utilizada como alimento.

Possui um arranjo diferenciado na região do mesêntero, provavelmente resultado da evolução por se alimentar de líquidos vegetais. Tal modificação é conhecida como câmara-filtro, que consiste em uma câmara que engloba a parte inicial do mesêntero com a parte anterior ou posterior do proctodéu. Assim, o excesso de líquido sugado passa da parte inicial para a final do tubo digestivo e é eliminado pelo ânus em forma de gotículas denominadas “honeydew”, permitindo que haja sucção de seiva com baixo teor de nutrientes (GALLO et al., 2002; CAMARGO et al., 2011).

Apresentam metamorfose incompleta, passando pelas fases de ovo, ninfa (I, II, III e IV) e adulto durante o seu ciclo de desenvolvimento. A reprodução pode ser partenogenética ou sexual. Na reprodução sexual a prole é constituída por machos e fêmeas. Já na partenogenética são originados apenas machos (partenogênese arrenótoca). Os adultos medem de 1 a 2 mm de comprimento, sendo as fêmeas maiores que machos, apresentam dois pares de asas membranosas recobertas por uma substância pulverulenta branca.

O acasalamento ocorre após a emergência dos adultos (12 a 48 horas). As fêmeas depositam de 10 a 300 ovos durante sua vida, sendo que a fecundidade depende da temperatura e planta hospedeira. Na ausência de alimento, a postura pode ser interrompida. Os ovos apresentam formato de pêra, comprimento médio de 0,2 mm, coloração amarela nos primeiros dias e marrom próximo à eclosão; são depositados de modo irregular na parte de baixo das folhas, fixados por um pedúnculo curto (EICHELKRAUT; CARDONA, 1989; SALGUEIRO, 1993; VILLAS BÔAS et al., 1997; GALLO et al., 2002; QUINTELA, 2004).

Pode ocasionar danos diretos e indiretos. Diretos pela sucção da seiva e atividade toxicogênica, que promovem amadurecimento irregular dos frutos, liberação de substâncias açucaradas, o que favorece o desenvolvimento da fumagina que causa redução da fotossíntese, e indireto pela transmissão de vírus que afeta a maioria dos processos vitais das plantas, provocando amarelecimento e deficiência no crescimento (SALGUEIRO, 1993).

Nas lavouras, geralmente, o controle da mosca-branca é feito mediante aplicações periódicas de agrotóxicos. Quando utilizados de forma inadequada, causam problemas ao ambiente, à saúde humana e animal, e selecionam pragas resistentes aos princípios ativos, contribuem para aumento significativo no custo final de produção (PICANÇO et al., 2007).

Estudos mostraram a eficiência de algumas espécies selvagens de tomateiro na resistência a pragas, mediada pela presença de substâncias químicas (aleloquímicos), exsudados por tricomas glandulares (PEREIRA et al., 2008) e, entre essas substâncias, estão os acil-açúcares, 2-tridecanonas e zingibereno (CARTER; SACALIS; GIANFAGNA, 1988).

3.3.2 Ácaro-Vermelho

O ácaro-vermelho, *Tetranychus evansi*, tem em seu ciclo as fases ovo, larva, protoninfa, deutoninfa e adulto. As fases de ninfa e adulto são iniciados após a intervalos de quiescência, que também podem ser chamados de crisálidas. Assim, e períodos de clima frio, pode, após a larva, surgir a "protocrisálida", após protoninfa a "deutocrisálida" e após deutoninfa a "teleocrisálida". Já em estações de clima quente já foi observado apenas um estado ninfal, onde o desenvolvimento é muito veloz, fazendo com que os ácaros passem por uma fase ninfal completa em um único dia (FLECHTMANN, 1975).

Os ovos são esféricos e depositados, de preferência, na face abaxial das folhas, são claros e se tornam opacos perto da eclosão. Após a eclosão, as larvas apresentam 3 pares de pernas e duas manchas oculares avermelhadas e, conforme vão se alimentando e desenvolvendo, passam pelas fases citadas até se tornarem adultos (GALLO, 2002).

A reprodução do *Tetranychus evansi* acontece através da partenogênese arrenótoca, onde os ovos fertilizados dão origem a fêmeas, ovaladas, enquanto que os não fertilizados originam machos que possuem a extremidade posterior do abdômen estreita (HELLE; SABELLIS, 1985).

3.3.3 Oídio

Oidium lycopersici (Cooke & Masee) é o causador da doença normalmente chamada de oídio, sendo parasita obrigatório e formador de micélios na superfície das folhas com posterior produção de conídios, facilmente destacáveis e propagados pelo vento. Já foi observado que, caso não haja controle eficiente, podem causar redução de até 40% na produção (AZEVEDO, 2001).

A doença pode ser causada pelos fungos *Erysiphe cichoracearum* (*Oidium lycopersici*) e *Leveillula taurica*, que comumente ocorrem no inverno seco. O *O. Lycopersici* tem maior importância em cultivos realizados nas estufas ou em locais com temperaturas mais elevadas associados com irrigação através de gotejamento, uma vez que não há incidência de água sobre as folhas (LOPES; ÁVILA, 2005).

Lopes e Ávila (2005) relatam que tal doença ocorre sobre as partes verdes da planta, como folíolos, pecíolos e ramos. Nos folíolos é observado o desenvolvimento

de uma pulverulência branca e, em estágios mais avançados, pode ocorrer necrose do hospedeiro, dando origem a manchas irregulares, e atrofia foliar.

3.4 RESISTÊNCIA INDUZIDA EM TOMATEIRO

A relação planta-artrópodo existe a milhares de anos, onde ambos coevoluíram. Assim, tanto inseto quanto planta, desenvolveram uma grande variedade de mecanismos físicos e químicos focados em sua sobrevivência. Tais mecanismos apresentam interdependência química, fisiológica e morfológica, mas já foi observado que há uma relação entre fatores alimentares por parte dos insetos e comportamento vegetal (MARSCHALEK, 2000).

É conhecido que os mecanismos envolvidos na resistência das plantas são complexos e necessitam de estudos minuciosos, mas algumas pesquisas consideradas superficiais revelam compostos químicos que induzem tais resistências, podendo ser usados na repelência de insetos-praga. Assim aumentar o conhecimento baseado na química e fisiologia desses mecanismos de resistência, faz-se necessário para que seja possível diminuir o uso de agrotóxicos (MARSCHALEK, 2000).

A indução de resistência em plantas aparece como uma possível alternativa para controlar ataques de insetos fitófagos. A resistência induzida é considerada ecológica e surge de alterações nas defesas das plantas contra insetos e patógenos, podendo ser ativadas por injúrias, danos físicos e estímulos de natureza química (PANDA; KHUSH, 1995).

Grande parte dos compostos vegetais são produzidos pelo metabolismo primário, sendo essenciais à vida das plantas. Por intermédio do metabolismo secundário são originadas substâncias em princípio não essenciais à sobrevivência dos vegetais. Não obstante, tais compostos desempenham importante papel em processos como atração de inimigos naturais e de polinizadores e tolerância ao ataque de pragas e doenças. (LOURENÇO, 2003).

3.4.1 Ácido Salicílico

O ácido salicílico é (AS) um hormônio vegetal orgânico, que ocorre naturalmente nas plantas e que pode promover, inibir ou modificar processos

fisiológicos e morfológicos. É um regulador endógeno de crescimento, tendo origem a partir de compostos fenólicos (TAIZ; ZEIGER, 2017).

O AS está ligado a uma série de processos fisiológicos das plantas como crescimento e desenvolvimento em condições normais, bem como floração (HEGAZI; EL-SHRAYI, 2007), desenvolvimento de raiz (LARQUE-SAAVEDRA, 1979), comportamento estomático e rendimento econômico (RASKIM, 1985).

São atribuídos ao AS funções hormonais como bloqueio de germinação, bloqueio de resposta a injúrias, regulador de gravitropismo e inibição no amadurecimento de frutos (SRIVASTAVA; DWIVEDI, 2000). Participa também como regulador endógeno de processos e resistência a doenças e pragas, conhecido por atuar como sinalizador no metabolismo secundário (VIEIRA, 2011).

Estuda-se o efeito da utilização de AS em espécies vegetais como redutor de estresses abióticos, tendo em vista que o mesmo é um composto ativador da resistência de plantas a patógenos, bem como a estresses abióticos e algumas pragas, sendo produzido a partir da fenilalanina (MESCHEDE et al., 2012).

Farmer e Ryan (1990) argumentam que no sistema de interação planta-inseto, as plantas têm utilizado uma variedade de moléculas proteicas tóxicas para sua proteção contra os insetos-praga.

O ataque de pragas ativa o sistema de sinalização fazendo com que ácido salicílico estimule a expressão de genes de resistências que ativam as rotas do ácido mevalônico e ácido metileritritol fosfato dando origem aos terpenos, além da formação de proteínas de resistência que estimulam ainda mais a produção de ácido salicílico e outros compostos responsáveis pela defesa da planta (TAIZ; ZEIGER, 2017).

A síntese do ácido chiquímico acontece pela condensação do fosfoenolpiruvato e da eritrose-4-fosfato compostos esses derivados da glicose, por meio da glicólise e da via da pentose fosfato, respectivamente (VERBERNE et al., 2000). Esse ácido se liga ao fosfoenolpiruvato, dando origem ao ácido corísmico (corismato), formando os aminoácidos aromáticos precursores dos fenilpropanóides, como a fenilalanina ou participa da via do isocorismato para a formação do AS (LEE, LÉON; RASKIN, 1995; SCHNEIDER et al., 1996).

Após a resposta de hipersensibilidade, as plantas podem desenvolver resistência de longa duração, conhecida como resistência sistêmica adquirida (RSA) que acumula AS. Com a presença do AS, as proteínas ligadas à patogênese são

acumuladas e expressão de genes são ativados, onde é possível entender que o AS também é responsável pela morte celular, possivelmente por “feedback” positivo que envolve as espécies reativas de oxigênio (KUMAR; KLESSING, 2003).

Para investigar o modo como o AS exerce os seus efeitos, vários mecanismos foram estudados como a catalase, ascorbato peroxidase e anidrase carbônica foram encontradas, onde essas três enzimas são moduladas por AS, e parecem ter atividade antioxidante (KUMAR; KLESSING, 2003). Apesar da importância do AS na defesa vegetal ser estudada, sua função principal não é completamente esclarecida (GRANT; LAMB, 2006; ANAND et al., 2008).

Foi identificado o metil-salicilato (MeSA) como a forma móvel do AS, onde esse é convertido em MeSA pela enzima AS metil transferase no local da síntese e, como o MeSA é volátil, acaba participando da sinalização entre as plantas vizinhas (SHULAEV et al. 1997), atravessando os diferentes tecidos, sendo hidrolisado em AS nas células alvo (PARK et al. 2007).

A aplicação de AS exógeno ou seus análogos funcionais, tais como o acibenzolar-S-metil, induz resistência sistêmica adquirida nas plantas, promovendo resistência contra determinados insetos e patógenos (ACHUO et al., 2004; RESENDE et al., 2000).

Acredita-se que o AS participa do sistema de controle da produção de calor durante a floração das plantas termogênicas, liberando substâncias voláteis que participam da polinização (RASKIN et al., 1987). A termogênese utiliza energia proveniente do aumento do fluxo de elétrons dentro das mitocôndrias (MEEUSE, 1975).

Muitos trabalhos demonstraram que o papel do AS na resposta de hipersensibilidade possivelmente está relacionado com a inibição das funções mitocondriais (XIE; CHEN, 1999). Estudos com plantas transgênicas de tabaco (*Nicotiana tabacum*) sugerem que a enzima alternativa oxidase (AOX) pode estar envolvida na RH (ORDOG et al., 2002; VANLERBERGHE; ROBSON et al., 2002), já que ela é induzida pelos produtos químicos, como o cianeto e antimicina A, que são capazes de inibir o percurso de elétrons no citocromo, aumentando assim a formação de espécies reativas de oxigênio (MAXWELL et al., 1999; VANLERBERGHE et al., 1994; WAGNER; WAGNER, 1997).

Os sucessos no entendimento dos mecanismos de defesa da planta indicam a presença de uma cascata precursora de sinais, onde alguns deles se mostraram não relacionados ao AS (PIETERSE et al., 1998; TRUMAN et al. 2007).

Plantas transgênicas que expressam a enzima salicilato hidroxilase não são capazes de acumular AS e não desenvolvem resposta de hipersensibilidade e resistência sistêmica adquirida (DELANEY et al., 1994).

3.4.2 Silício

O silício é um elemento não essencial, mas pode ser considerado benéfico para algumas plantas, com presença confirmada nas regiões intercelulares, promovendo aumento na resistência das paredes celulares, reduzindo herbivoria, assim como estresses abióticos e biótico (IPNI, 2015).

O silício está biodisponível para a planta na forma de ácido monossilícico (H_4SiO_4) (JONES; HANDRECK, 1967), e pode promover proteção contra fatores bióticos e abióticos como a incidência de insetos-praga (COSTA et al., 2009; GOMES et al., 2009; CAMARGO et al., 2008; COSTA et al., 2007) provavelmente, pelo estímulo na produção de compostos fenólicos, peroxidase e catalase (GOMES et al., 2009). A aplicação foliar em pepino causou diminuição da incidência de mosca-branca, redução na oviposição, aumento no período de desenvolvimento do inseto e morte de ninfas (CORREA et al., 2005).

Experimentos conduzidos visando elucidar o mecanismo de resistência observaram antibiose por mudanças biológicas nos herbívoros após predação de plantas adubadas com Si, destacando aumento da mortalidade e redução da fecundidade (GOUSSAIN et al., 2002, 2005; GOMES et al., 2005; KORNDÖRFER et al., 2011, DIAS et al., 2014), bem como aumento de enzimas relacionadas a defesa e liberação de compostos voláteis que promoveram atração de inimigos naturais (GOMES et al., 2005; REYNOLDS et al., 2009).

3.4.3 Micorrizas

Os fungos micorrízicos são divididos em orquidóides, monotropóides, ericóides, arbutóides, ectomicorrizas, ectoendomicorrizas e arbusculares. Esse último grupo pertence ao filo Glomeromycota, colonizando o córtex das raízes de

plantas hospedeiras com formação de estruturas ramificadas (arbúsculos) (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Os arbúsculos são classificados como estruturas dicotômicas com origem no interior de células radiculares, funcionando como extensões das raízes, permitindo aumento na absorção de água e nutrientes. São obrigatoriamente biotróficos, necessitando de células vivas para completar seu ciclo de vida, e tal desvantagem é superada pela inexistência de especificidade entre hospedeiro e fungos micorrízicos arbusculares (FMA) (SILVA JUNIOR; CARDOSO, 2006).

Os micélios dos FMA se estendem do sistema radicular de uma planta até a outra, criando uma rede de raízes, que podem ser de diferentes plantas e componentes de um bioma, que pode permitir a troca de informações, aumentando assim a resistência contra danos causados por insetos, lembrando que a capacidade de colonização pode mudar de acordo com as espécies, composição química do solo, temperatura e disponibilidade de água (ABBOTT et al., 1995).

A colonização por FMA induz ao aumento de resistência das plantas, localizada ou sistêmica (ELSEN et al., 2008; VOS et al., 2012; POZO et al., 2002), e a presença dessas fungos estimula mudanças bioquímicas no metabolismo responsável pela defesa (GARCIA-GARRIDO & OCAMPO, 2002; DE GARA et al., 2003; SELOSSE et al., 2004), mais especificamente elevando a atividade de enzimas antioxidativas como a catalase, peroxidase e outras (LAMBAIS et al., 2003; ARFAOUI et al., 2007).

3.4.4 Quitosana

A quitosana também é um agente capaz de induzir e ativar as defesas vegetais, sendo um polissacarídeo derivado da quitina que é encontrada na composição dos exoesqueletos de crustáceos e insetos, bem como na parede celular dos fungos (SIGNINI, 2002; AZEVEDO et al., 2007).

Quando usada no tratamento de sementes, a quitosana reduziu o tombamento causado por *Rhizoctonia solani* e promoveu indução de resistência caracterizada pelo aumento enzimático da fenilalanina amônia-liase (MAZARO et al., 2009).

Obtida pela desacetilação da quitina, a quitosana é classificada como um polímero biodegradável e não tóxico para animais (SHAHIDI et al., 1999; RHOADES

& ROLLER, 2000), de interesse para uso agrônômico (LEE et al. 1999). Sua utilização em culturas como trigo, pepino, arroz e ervilha, aumentou a resistência a ataques de *Fusarium graminearum* Schwabe, *Pyricularia grisea* (Cooke) Sacc. e *Pythium aphanidermatum* (Edson) Fitzp. (SATHIYABAMA & BALASUBRAMANIAM, 1998; BHASKARA REDDY et al., 1999; LIN et al., 2005).

3.4.5 Algas

As algas são microrganismos que estão presentes no ambiente marinho podendo crescer rápido e apresentam grande produção de biomassa, o que acaba tornando sua comercialização promissora na agricultura (STADNIK & PAULERT, 2008). Apresentam um grande potencial no desenvolvimento de novas tecnologias, seguindo o sucesso das algas já comercializadas (KULIK, 1995; CRAIGE, 2011).

Normalmente, já são usados como fertilizantes orgânicos, também se mostrando promissores como fonte de substâncias que podem induzir a proteção de plantas contra patógenos, e assim estimular sua exploração (KHAN et al., 2009).

Ficou demonstrado por Vera et al. (2012) o efeito sistêmico do uso de algas contra o vírus do mosaico do tabaco (TMV), *Botrytis cinerea* e *Pectobacterium carotovorum*. A aplicação de altas concentrações de algas resultou em indução de resistência contra TMV, aumentando a atividade da fenilalanina amônia-liase e acúmulo de compostos fenólicos, substâncias essas envolvidas na proteção vegetal.

Outro estudo demonstrou que o uso de algas em videiras e pimentas aumentou a atividade da peroxidase, enzima relacionada a resistência (LIZZI et al., 1998). A via do ácido jasmônico também foi ativada em testes utilizando algas (GLAZEBROOK, 2005), podendo assim atuar em mais de uma rota metabólica secundária.

3.4.6 *Bacillus Velezensis*

Espécies de rizobactérias do gênero *Bacillus* possuem a capacidade de invadir os tecidos internos das plantas, isto é, são bactérias endofíticas facultativas, com parte do seu ciclo realizado fora da planta hospedeira (PAGE et al., 2019). Alterações nas atividades de enzimas-chave, como as peroxidases, catalases e

fenilalanina amônia-liase, permitem acompanhar o estado de indução de resistência em plantas expostas a patógenos e atribui-se a essas enzimas a função de respostas contra patógenos e ferimentos (ALMEIDA et al., 2012)

3.5 ENZIMAS RELACIONADAS A RESISTÊNCIA DE PLANTAS

3.5.1 Proteínas Totais Solúveis

Vários fatores fisiológicos bem como mecanismos bioquímicos são responsáveis pela resistência das plantas. Normalmente, ocorre a síntese de proteínas, podendo estar relacionadas ao metabolismo primário ou secundário, fotossíntese e defesa (GALMÉS et al., 2011). Muitas proteínas estão presentes nas vias metabólicas secundárias que são consideradas importantes na resposta a ataques e danos (CIPRIANO et al., 2016).

3.5.2 PEROXIDASE E CATALASE

A palavra “peroxidase” tem por finalidade a identificação de enzimas que catalisam a oxirredução de substâncias como o peróxido de hidrogênio e outros redutores, e se apresentam nas plantas como peroxidase e catalase, estando ligadas a injúrias, danos, ataques, lignificação e formação de compostos fenólicos. Conforme as plantas passam por diversos estresses, ativam seus sistemas de defesa que estimulam a produção de inúmeras proteínas e enzimas, dentre elas a peroxidase e catalase (ALMAGRO et al., 2009; KARUPPANAPANDIAN et al., 2011; HIRAGA et al., 2001).

A reação química mais comum dessas enzimas é a oxidação desidrogenativa do guaiacol, resultando na formação de fenoxi que se ligam a radicais livres instáveis, levando a polimerização não enzimática de monômeros, onde hidroxicinamil álcool e seus derivados dão origem a lignina (HIRAGA et al., 2001), participando também da peroxidação de lipídios, induzindo o acúmulo de AS (LEON et al., 1995).

3.5.3 Fenilalanina Amônia-Liase

A fenilalanina amônia-liase (FAL) é muito estudada por ter importância no metabolismo secundário das plantas. Sua função é catalisar a amônia da L-fenilalanina, originando o ácido *trans*-cinâmico, que é o primeiro produto formado na rota dos fenilpropanóides (JONES, 1984).

O ácido *trans*-cinâmico é precursor de inúmeros compostos que atuam contra estresse bióticos como ataque de patógenos e insetos, sintetizando fitoanticipinas e compostos fenólicos que atuam como substâncias antinutritivas, além de antocianinas, tendo sua atividade aumentada devido aos estímulos supra-citados, promovendo a síntese de compostos protetores (DIXON & PAIVA, 1995).

4 ARTIGO 1

BIOESTIMULANTES E FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES NA EXPRESSÃO DE COMPOSTOS RELACIONADOS A RESISTÊNCIA DE TOMATEIROS A PRAGAS E DOENÇAS

RESUMO

Patógenos, insetos e plantas coevoluíram ao longo de centenas de milhares de anos de modo a coexistirem e se propagarem colonizando diferentes regiões do planeta. Nesse processo de coevolução, as plantas desenvolveram mecanismos de defesa de modo a suportar a ação de diferentes espécies de patógenos e artrópodes. A ativação dessas defesas naturais pode ser induzida pela aplicação de bioestimulantes. Como resposta a essa indução, enzimas ligadas à proteção e metabolitos secundários são produzidas, tendo como efeito adicional a melhora da performance das plantas. Desta maneira, o objetivo do presente trabalho foi determinar o efeito de bioestimulantes sobre o metabolismo secundário em tomateiro. O Experimento foi conduzido na casa-de-vegetação utilizando a cultivar BRS-Nagai, em esquema fatorial 2x5. O primeiro fator foi a presença e ausência do fungo micorrízico arbuscular *Rhizophagus clarus* (FMA's) enquanto o segundo fator foi a utilização de cinco bioestimulantes: testemunha (T), Ácido salicílico (AS), fertilizante silicatado (dióxido de silício – 68,2% + carbonato de Cálcio – 31,8%) (FS), mistura de biofertilizantes em pulverização (FSCA+SFA) e *Bacillus velezensis* (BV). Foram avaliados teor de proteínas totais solúveis e zingibereno, e a atividade das enzimas catalase, peroxidase e fenilalanina amônia-liase. Os dados obtidos foram submetidos aos testes de normalidade, homocedasticidade e análise de variância, sendo que as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% e correlação de Spearman utilizando o software R. Os resultados mostraram que uso de substrato inoculado com o FMA proporcionou incremento de proteínas totais solúveis e reduziu a atividade da catalase e peroxidase, e a aplicação de *Bacillus velezensis* proporcionou incrementos dos teores foliares do terpeno zingibereno.

ABSTRACT

Pathogens and insects often attack plants that, during centuries of evolution, have developed defense mechanisms responding in an adequate and adaptive way, where the activation of these defenses can be induced by the application of biostimulants. As a response to this induction, defense-related enzymes and secondary metabolites are produced, which can even improve plant performance. Thus, the objective of the present work was to determine the effect of biostimulants on secondary metabolism in tomato. The experiment was carried out in the greenhouse of Universidade Estadual de Londrina, using the cultivar BRS-Nagai, where the seeds were treated following a 2x5 factorial scheme, where the first factor was the presence and absence of the arbuscular mycorrhizal fungus *Rhizophagus clarus* (FMA's) while the second factor was the use of five biostimulants: control (T), salicylic acid (SA), silicate fertilizer (silicon dioxide – 68.2% + calcium carbonate – 31.8%) (FS), mixture of sprayed biofertilizers (FSCA+SFA) and *Bacillus velezensis* (BV). Total soluble protein and zingiberene content, activity of catalase, peroxidase

and phenylalanine ammonia-lyase enzymes were evaluated. The data obtained were submitted to tests of normality, homoscedasticity, analysis of variance by Tukey's test at 5% and Spearman's correlation using the R software. The results showed that the use of substrate inoculated with AMF provided an increase in total soluble proteins and reduced the activity of catalase and peroxidase, and the application of *Bacillus velezensis* provided increments in the foliar contents of the terpene zingiberene.

INTRODUÇÃO

Patógenos e insetos frequentemente atacam plantas, e como as plantas não apresentam anticorpos para realizar defesa, acabaram desenvolvendo, durante milhares de anos de evolução, mecanismos de defesa que, quando ativados, respondem de forma adequada e adaptativa (PIETERSE et al., 2005).

A ativação das defesas das plantas pode ser induzida pela aplicação de substâncias químicas. Estas defesas induzidas garantem, para as plantas, benefícios, uma vez que diminuem o tempo de resposta e aumentam a resistência aos ataques de insetos e patógenos (AGRAWAL et al., 1999).

Como resposta a essa indução, são produzidas pelas plantas enzimas ligadas a mecanismos de defesa, tais como a catalase, peroxidase e a fenilalanina amônia-liase, e metabolitos secundários como o zingibereno, (FRANCESCHI et al., 2002).

Algumas dessas substâncias químicas também atuam como bioestimulantes, que podem aumentar a resistência das plantas a vários tipos de estresses bióticos e abióticos (RUSSO; BERLYN, 1990), de modo a favorecer o desenvolvimento das plantas. Tais substâncias bioestimulantes podem ter em sua composição hormônios vegetais, extrato de algas, oligoelementos e microrganismos (KELTING et al., 1997)

Desta maneira, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a influência de compostos bioestimulantes sobre o metabolismo secundário em tomateiro.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido em casa de vegetação da Universidade Estadual de Londrina (23°19'42" S, 51°12'11" O e altitude 594m), segundo a classificação de Koppen, a região se enquadra no clima tipo Cfa, com verões quentes e baixa

frequência de geadas. Foi utilizada a cultivar de tomate BRS-Nagai. As sementes foram colocadas em bandejas de poliestireno preenchidas com substrato comercial (MecPlant®) no dia 15 de outubro de 2020.

Tratamentos

Os tratamentos foram dispostos em delineamento experimental de blocos casualizados em esquema fatorial 2x5, onde o primeiro fator foi a presença e ausência do fungo micorrízico arbuscular *Rhizophagus clarus* (FMA's) enquanto que o segundo fator foi a utilização de quatro bioestimulantes: testemunha (T), Ácido salicílico (AS), fertilizante silicatado (dióxido de silício – 68,2% + carbonato de Cálcio – 31,8%) (FS), mistura de biofertilizantes em pulverização (FSCA+SFA) e *Bacillus velezensis* (BV).

Nos tratamentos com ácido salicílico, as sementes foram embebidas, por cinco minutos, em solução de ácido salicílico (99% de pureza) diluídos em água destilada na concentração de 50 mg L⁻¹.

O substrato utilizado nos tratamentos com micorrizas, foi misturado com inóculos de *R. clarus* (esporos, micélios e raízes colonizadas) fornecidos pelo Laboratório de Ecologia Microbiana (Universidade Estadual de Londrina, Londrina, PR, Brasil), numa concentração de 50 esporos por célula da bandeja.

O tratamento com silício foi realizado com o produto composto de carbonato de cálcio (31,8%) + dióxido de silício (68,2%) proveniente de terra de diatomáceas (Tech Crop Si®, Tech Crop®, São Miguel Arcanjo, SP) misturado no substrato (1%). A mistura de biofertilizantes utilizada em pulverização foi composta do mesmo fertilizante silicatado (1,5 kg/ha 200l calda) + extrato de algas com alginatos (Tech Crop Active®) (200 ml/200 l calda) + D-glucosamina (proveniente de quitosana) com sulfato de cobre (Tech crop Power cup®) (300 l calda/200l calda). Para Si foram feitas duas aplicações com 5 e 20 dias após o transplântio. O *B. velezensis* foi aplicado com 5 dias após o transplântio (200 ml/100 L da calda).

Estes produtos foram testados previamente em experimentos na UEL e apresentaram incremento de produção e diminuição da incidência de doenças em tomateiro, pepino, trigo, aveia e soja. O produto Tech Crop Activ® contém em sua formulação extratos de algas marrons *Ascomphylum nodosum* com tratamento para liberação de polímeros polioânicos alginatos. Também fornecem fitoreguladores

(Auxinas, citocininas e giberilinas) e aminoácidos que são carreadores de nutrientes e possibilitam maior absorção pelas plantas.

Já o produto Tech Crop Power Cup® contém d-glucosamina, que foi extraído de quitosana, e sulfato de cobre. Aos 25 dias após semeadura foram transferidas duas mudas para cada vaso plástico de 5L contendo Latossolo Vermelho eutroférico e esterco curtido (1:1).

Análises enzimáticas

Para as análises bioquímicas obteve-se, inicialmente, um extrato proteico para determinação de proteínas totais e das enzimas FAL, catalase e peroxidase. O extrato proteico foi obtido pela coleta de 0,5 g de tecido vegetal fresco (folíolo do terço superior), macerado em almofariz previamente resfriado contendo 3 mL de solução tampão fosfato de potássio, 0,1 M e pH 7,5, acondicionado em microtubo e centrifugado a 12.000 rpm a 4°C por 15 min.

A quantificação de proteínas totais foi realizada com base no método descrito por Bradford (1976). A determinação da atividade da fenilalanina amônia-liase (FAL), foi realizada utilizando a colorimetria do ácido trans-cinâmico liberado do substrato fenilalanina, de acordo com a metodologia descrita por Kuhn (2007).

Para a peroxidase foi coletado em uma cubeta 900 µL da solução A (250 µL guaiacol + 306 µL de peróxido de hidrogênio, completando o volume para 100 mL com tampão fosfato de potássio 0,01 M e pH 6,0) e 100 µL do sobrenadante do extrato proteico. Em seguida, realizada a leitura em espectrofotômetro a 470 nm. A atividade da peroxidase foi determinada pela conversão de guaiacol a tetraguaiacol (LUSSO, PASCHOLATI, 1999).

Para quantificação da catalase coletou-se em uma cubeta 900 µL da solução B (tampão fosfato de potássio 0,05 M e pH 7,0, contendo peróxido de hidrogênio 12,5 mM) e adicionou-se 100 µL do sobrenadante do extrato protéico. A atividade enzimática da catalase foi determinada pelo acréscimo na absorbância a 240 nm, utilizando-se o coeficiente de extinção molar de $36 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ (ANDERSON et al., 1995).

Teor de zingibereno

Foram retirados 10 discos foliares de folíolos jovens, expandidos do terço superior das plantas, totalizando 10 cm². Os discos foram colocados em microtubos, nos quais se adicionou 2 mL de hexano. Os tubos foram agitados durante 30 segundos para promover a extração do ZGB. Após a agitação, os discos foliares foram retirados. Foi feita a leitura de absorvância dos extratos, em aparelho espectrofotômetro, em comprimento de onda de 270 nm, sendo essa absorvância diretamente proporcional à quantidade de ZGB no extrato. Esse método é altamente correlacionado a padrões de ZGB obtidos por cromatografia líquida de alta performance (HPLC) (FREITAS et al. 2000).

Análises estatísticas

Foi utilizado o software R Core Team, pacote AgroR para as análises estatísticas. Os dados foram submetidos ao teste de normalidade dos resíduos e homocedasticidade das variâncias. Atendidos estes pressupostos, foi realizada a análise de variância. As interações significativas foram desdobradas e as médias, comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, e quando necessário, realizado correlação de Spearman.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

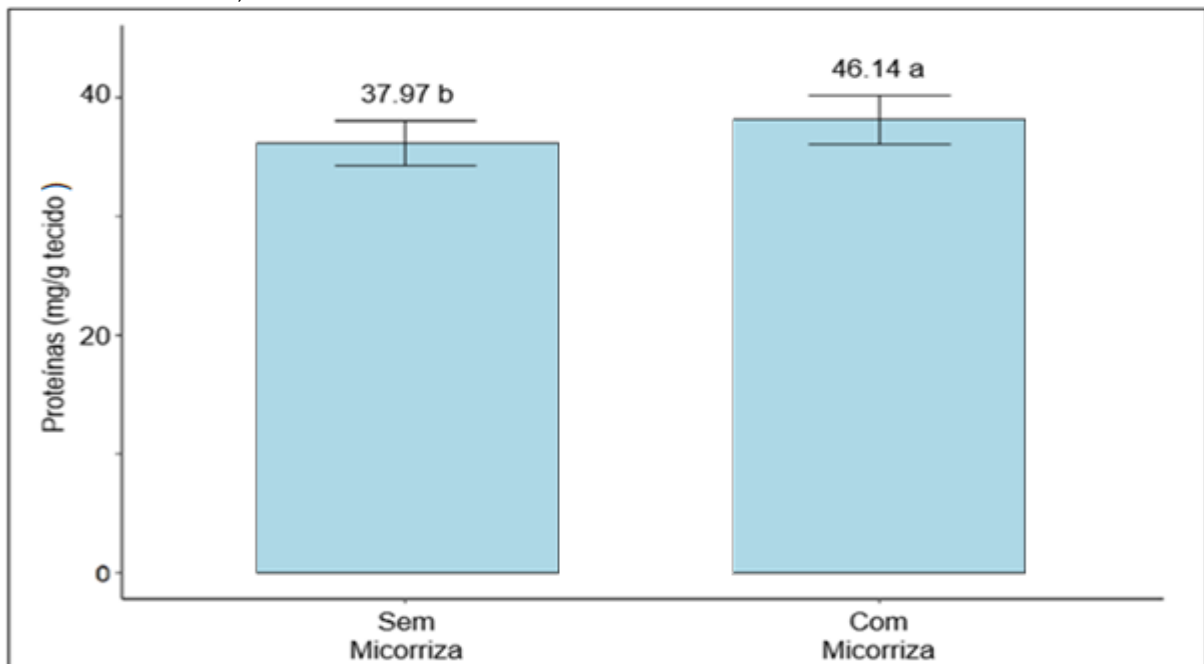
Maiores teores proteicos foram observados nas plantas cujos substratos foram inoculados com micorrizas (fator A) (Tab. 1). Para o fator B, que inclui os outros bioestimulantes, valores similares foram observados.

Tabela 1. Efeito dos diferentes tratamentos em tomateiros sobre as proteínas totais, enzimas relacionadas à resistência e zingibereno. Londrina, 2021.

FMA	Tratamento	Proteína	Catalase	Peroxidase	FAL	Zingibereno
SEM	T	38.6	30.1	0.088	2.568	0.592 b
	AS	38.1	37.1	0.105	3.662	0.429 b
	FS	36.5	34.5	0.107	3.042	0.545 b
	FSCA + SFA	37.1	35.4	0.121	3.073	0.412 b
	BV	39.4	29.6	0.096	2.767	0.861 a
COM	T	49.1	23.5	0.086	2.547	0.514 b
	AS	39.5	27.1	0.083	2.669	0.581 b
	FS	46.9	21.9	0.074	2.939	0.358 b
	FSCA + SFA	46.1	25.7	0.080	3.426	0.290 b
	BV	49.1	19.9	0.067	1.950	0.757 a
CV (%)		5.44	35.67	36.07	23.52	31.48
FMA	SEM	37.93 b	33.3 a	0.10 b	3.022 ^{ns}	0.567 ^{ns}
	COM	46.14 a	23.6 b	0.07 a	2.705 ^{ns}	0.500 ^{ns}

Proteína: mg g⁻¹ de tecido foliar. Catalase: mmol H₂O₂ mg⁻¹ de proteína. Peroxidase e FAL: UAbs min⁻¹ mg⁻¹ de proteína. Zingibereno: UAbs. Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade; ns: não significativo. Testemunha (T), Ácido salicílico (AS), fertilizante silicatado (dióxido de silício – 68,2% + carbonato de Cálcio – 31,8%) (FS), mistura de biofertilizantes em pulverização (FSCA+SFA) e *Bacillus velezensis* (BV).

Figura 1. Teores de proteínas em tomateiros submetidos a diferentes tratamentos, inoculados ou não com FMA. Londrina, 2021.



Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

O incremento no teor de proteínas nas plantas cultivadas em substratos inoculados com FMA's provavelmente está associado à maior absorção de nutrientes proporcionada por sua simbiose com as plantas de tomateiro (TAIZ; ZERGER, 2017). Aumento nos níveis de nitrogênio, fósforo e potássio deve estar associado ao incremento das proteínas (COSTA; LOVATO, 2004).

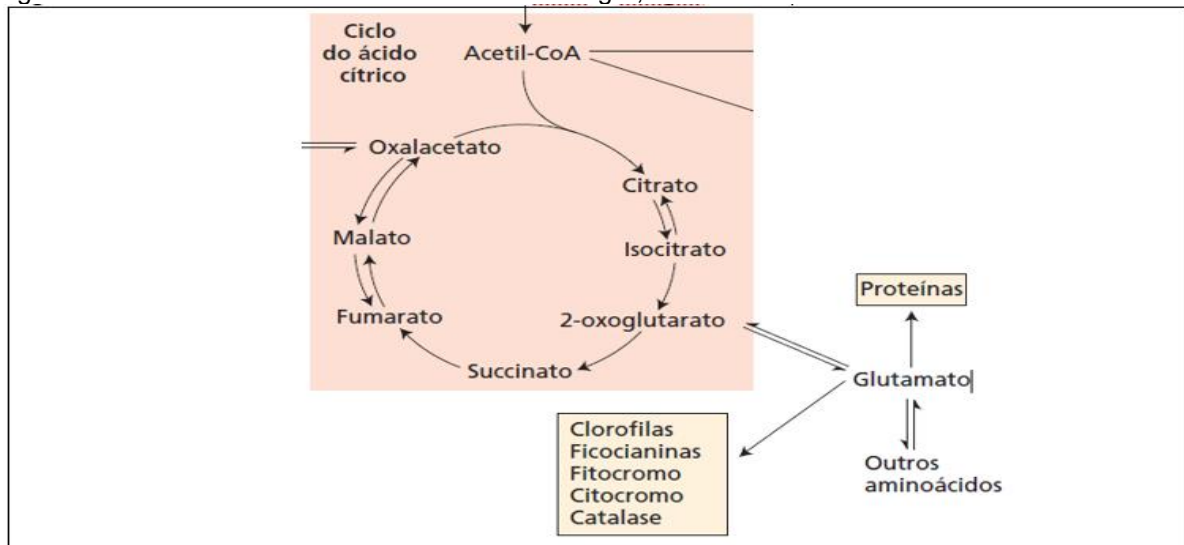
Na avaliação de atividade das enzimas catalase e peroxidase, houve redução nas plantas cultivadas com micorriza (Tab. 1). Entretanto, para os demais bioestimulantes (fator B), os valores foram similares.

Pesquisas já indicaram que a simbiose entre plantas e FMA pode causar alterações fisiológicas e bioquímicas importantes em várias espécies vegetais. Plantas sob estresse, normalmente, inoculadas com FMA apresentaram elevação na atividade das enzimas catalase e peroxidase (WU; SRIVASTAVA; ZOU, 2013; WU, 2017; ÇEKİÇ; ÜNYAYAR; ORTAŞ, 2012; TALAAT; SHAWKY, 2011).

Plantas sob estresse acumulam espécies reativas de oxigênio (KAPOOR; SINGH, 2017), e que tais espécies em excesso podem causar morte de células (WU; ZOU; FATHI ABD-ALLAH, 2014). Vegetais possuem mecanismos de proteção que são enzimas antioxidantes como catalase e peroxidase (HASANUZZAMAN et al., 2020).

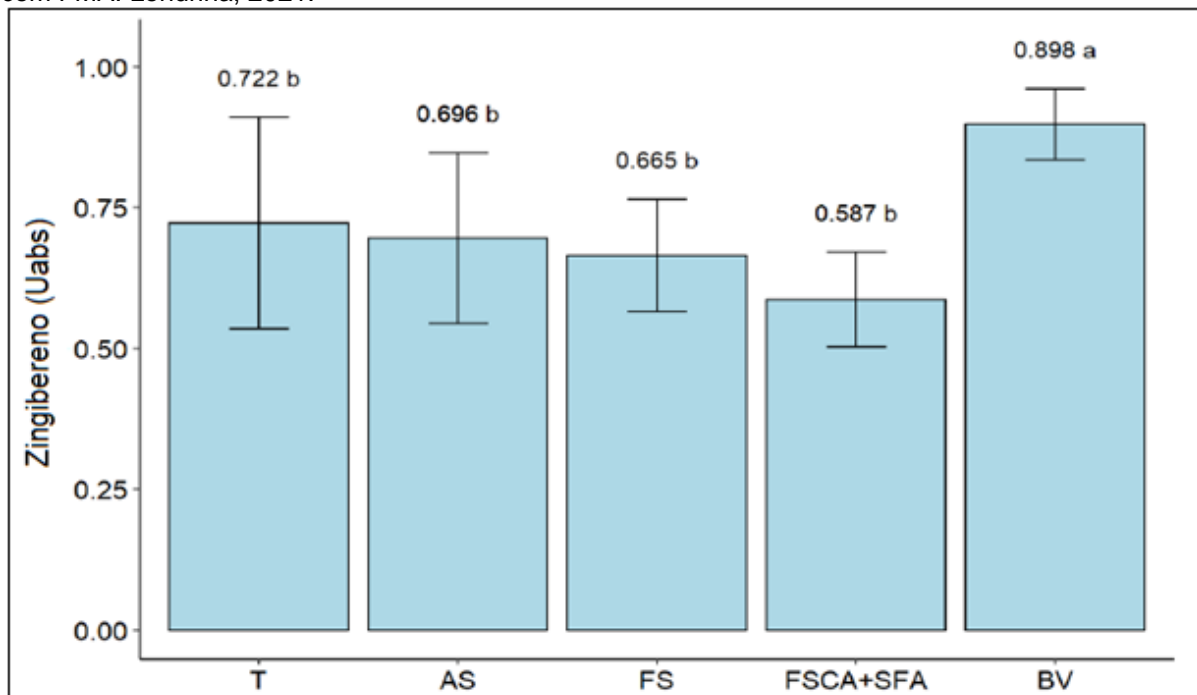
Dessa forma, os resultados obtidos nesse estudo sugerem que a presença de FMA's pode ter desviado rotas metabólicas secundárias, no qual o glutamato (fig. 2) foi convertido preferencialmente em proteínas e não em catalase ou peroxidase (TAIZ; ZERGER, 2017). Sendo assim, pode ter havido ativação de rotas alternativas, não ter havido estresses sinalizadores de resistência ou ainda, estes sinais podem não ter tido a magnitude necessária para ativar as rotas nas quais as micorrizas eventualmente poderiam estar envolvidas.

Figura 2. Rota oxidativa do ácido cítrico. Taiz e Zenger, 2017.



Em relação à enzima FAL, valores similares foram observados tanto em relação ao primeiro (micorrizas) quanto ao segundo fator (outros bioestimulantes). Esses resultados, confirmam estudos prévios, nos quais verificou-se que a produção de enzimas relacionadas à atenuação de estresses estimulada pela ação de microrganismos benéficos foi de curta duração e intensidade (ZHOU et al., 2016; SILVA et. al, 2013).

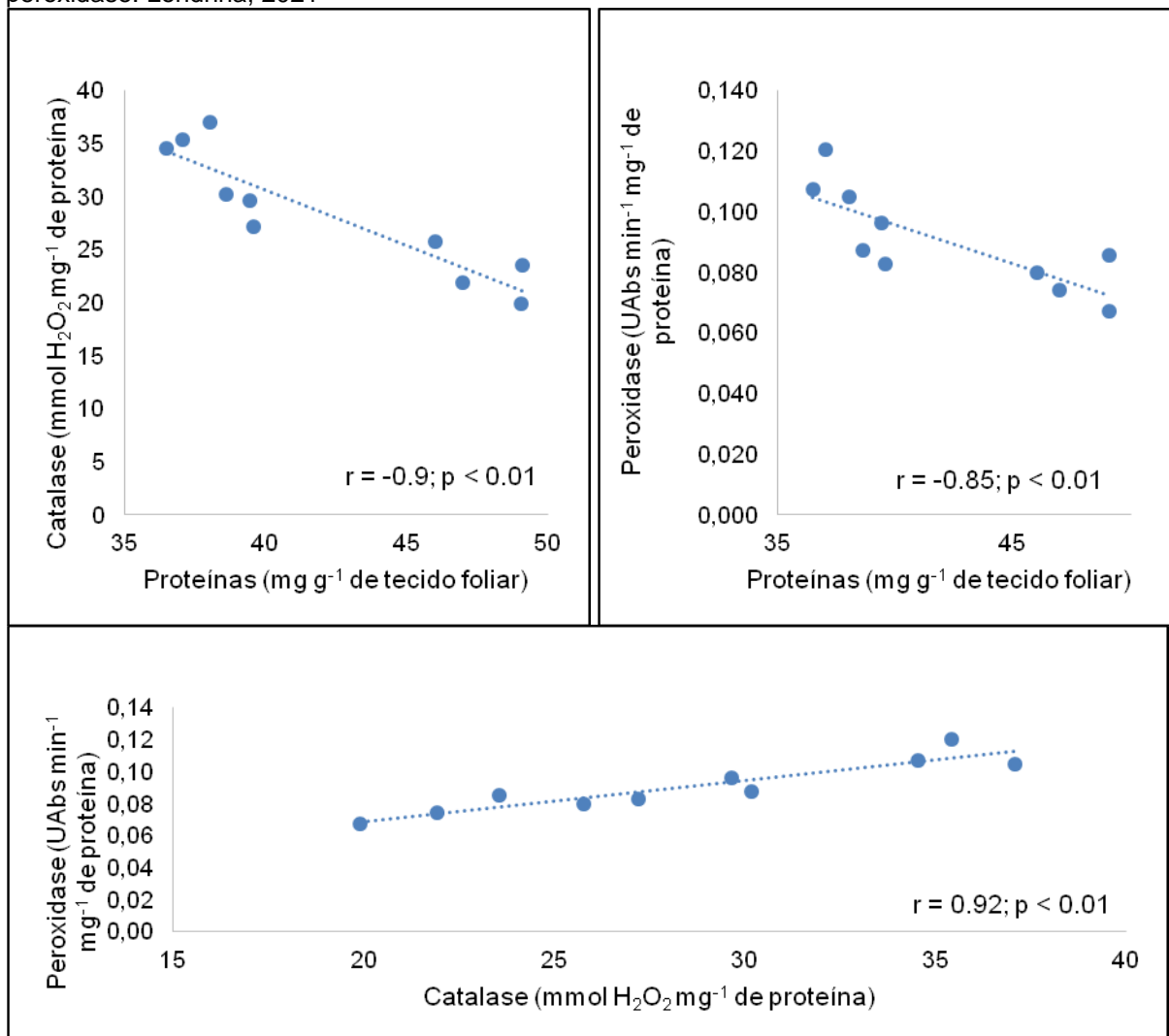
Figura 3. Teor de zingibereno em tomateiro submetido a diferentes tratamentos, inoculados ou não com FMA. Londrina, 2021.



Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Testemunha (T), Ácido salicílico (AS), fertilizante silicatado (dióxido de silício – 68,2% + carbonato de Cálcio – 31,8%) (FS), mistura de biofertilizantes em pulverização (FSCA+SFA) e *Bacillus velezensis* (BV).

A inoculação com FMA não alterou a produção de zingibereno pelas plantas (tab. 1). Entretanto, a aplicação de *B. velezensis*, independente da presença ou ausência de FMA's, proporcionou maior produção desse terpeno. Previamente, essa espécie de bactéria, foi reconhecida pela indução de defesa sistêmica e por promover o crescimento das plantas (PODILE E KISHORE, 2006) (BLOEMBERG E LUGTENBERG, 2001; BENEDUZI ET AL., 2012; ZHANG ET AL., 2015). Nesse caso, a aplicação do *B. velezensis* deve ter atuado positivamente na rota do ácido mevalônico e metileritritol fosfato, responsáveis pela produção zingibereno (TAIZ; ZEIGER, 2017).

Figura 4. Correlação de Spearman entre proteínas x catalase, proteínas x peroxidase e catalase x peroxidase. Londrina, 2021



Observou-se correlação negativa e significativa entre a concentração de proteínas x catalase ($r = -0,90$), proteínas x peroxidase ($r = -0,79$), e correlação positiva e significativa entre catalase x peroxidase ($r = 0,92$), indicando que a planta

pode desviar suas rotas metabólicas, dando preferência para a formação dessas enzimas através do consumo de reservas proteicas e vice-versa. Previamente, a produção de enzimas relacionadas ao metabolismo secundário bem como proteínas relacionadas à patogênese já foi relatada como responsável por alterações quantitativas nas proteínas solúveis durante respostas ligadas a defesas (STINTIZI et al.,1993).

CONCLUSÃO

O uso de substrato inoculado com o FMA proporcionou incremento de proteínas totais solúveis e reduziu a atividade da catalase e peroxidase. A aplicação de *Bacillus velezensis* proporcionou incrementos dos teores foliares do terpeno zingibereno.

5 ARTIGO 2

FUNGOS MICORRÍZICOS E BIOESTIMULANTES ALTERAM PROPRIEDADES FITOMÉTRICAS E BIOQUÍMICAS DE TOMATEIROS

RESUMO

O tomateiro é a segunda hortaliça cultivada no mundo, e para que altos níveis de produtividade sejam alcançados, é necessário o uso de elevadas quantidades de fertilizantes, especialmente em cultivares que podem apresentar reduzida eficiência no uso de nutrientes. Dessa forma, tem sido adotado o uso de substâncias com características bioestimulantes, que podem induzir as plantas a aumentar a eficiência metabólica, influenciando também em propriedades fitométricas e produtivas. O objetivo do presente trabalho foi avaliar as possíveis alterações na taxa fotossintética, transpiração, índice Falker, altura de planta e produtividade em tomateiros tratados com diferentes bioestimulantes. O Experimento foi conduzido em casa-de-vegetação da Universidade Estadual de Londrina, utilizando a cultivar BRS-Nagai, onde as sementes foram tratadas seguindo esquema fatorial 2x5, onde o primeiro fator foi a presença e ausência do fungo micorrízico arbuscular *Rhizophagus clarus* (FMA's) enquanto que o segundo fator foi a utilização de cinco bioestimulantes: testemunha (T), Ácido salicílico (AS), fertilizante silicatado (dióxido de silício – 68,2% + carbonato de Cálcio – 31,8%) (FS), mistura de biofertilizantes em pulverização (FSCA+SFA) e *Bacillus velezensis* (BV). Os dados obtidos foram submetidos a testes de normalidade, homocedasticidade e análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5%. Após a discussão é possível concluir que os tratamentos com mistura de biofertilizantes ou *B. velezensis* proporcionaram aumento no índice Falker, sendo que alterações significativas não foram detectadas para taxa fotossintética e transpiração, e ainda os FMA's estimularam o aumento da altura das plantas, bem como a distância entre cachos.

ABSTRACT

Tomato is the second vegetable cultivated in the world, and in order to reach high levels of productivity, it is necessary to use a high level of fertilizers, especially for vegetable species that may present reduced efficiency in the use of nutrients. Thus, the use of substances with biostimulant characteristics has been adopted, which can induce plants to increase metabolic efficiency, also influencing phytometric properties and productivity. The objective of the present work was to evaluate the possible alterations in the photosynthetic rate, transpiration, Falker index, height and productivity in tomato plants treated with different biostimulants. The experiment was carried out in the greenhouse of Universidade Estadual de Londrina, using the cultivar BRS-Nagai, where the seeds were treated following a 2x5 factorial scheme, where the first factor was the presence and absence of the arbuscular mycorrhizal fungus *Rhizophagus clarus* (FMA's) while the second factor was the use of five biostimulants: control (T), salicylic acid (SA), silicate fertilizer (silicon dioxide – 68.2% + calcium carbonate – 31.8%) (FS), mixture of sprayed biofertilizers (FSCA+SFA) and *Bacillus velezensis* (BV). The data obtained were submitted to tests of normality,

homoscedasticity and analysis of variance by Tukey's test at 5%. After the discussion, it is possible to conclude that treatments with a mixture of biofertilizers or *B. velezensis* provided an increase in the Falker index, and significant changes were not detected for photosynthetic rate and transpiration, and the AMF's stimulated an increase in plant height, as well as the distance between curls.

INTRODUÇÃO

O tomateiro é a segunda hortaliça cultivada no mundo, registrando uma produção de 186.821.216 toneladas. Entre as hortaliças produzidas no Brasil, o tomate se destaca tanto no aspecto econômico como no social, onde o cultivo de ocupa uma área de aproximadamente 51,96 mil hectares, na qual foi produzida em 2012, 3.753.595 toneladas, tendo o país uma produtividade média de 72 toneladas por hectare (FAO, 2020).

Para que altos níveis de produtividade sejam alcançados, faz-se necessário o uso de grandes quantidades de fertilizantes químicos sintéticos, especialmente para cultivares que apresentam reduzida eficiência no uso de nutrientes (ZANDONADI et al., 2014), onde tal prática tem causado acúmulo excessivo de nutrientes no solo, o que conseqüentemente altera suas propriedades físicas e químicas e biológicas, podendo levar à salinização.

Zandonadi et al. (2014) ainda relata que para se evitar os problemas supracitados, tem sido adotado o uso de substâncias associadas ou não a microrganismos com características bioestimulantes, que induzem as plantas a aumentar a eficiência no uso de água e de nutrientes bem como sua eficiência fotossintética, influenciando também em propriedades fitométricas e produtividade.

Bioestimulantes vegetais são compostos orgânicos que apresentam várias origens e ação análoga a hormônios (BULGARI et al., 2015), podendo ser aplicados nas folhas ou sementes, com o intuito de aumentar a produtividade e elevar a qualidade (YAKHIN et al., 2017).

O objetivo do presente trabalho foi avaliar as eventuais alterações na taxa fotossintética, transpiração, índice Falker, altura e produtividade em tomateiros tratados com diferentes bioestimulantes.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido em casa de vegetação da Universidade Estadual de Londrina (23°19'42" S, 51°12'11" O e altitude 594m), segundo a classificação de Koppen, a região se enquadra no clima tipo Cfa, com verões quentes e baixa frequência de geadas. Foi utilizada a cultivar de tomate BRS NAGAI. As sementes foram colocadas em bandejas de poliestireno preenchidas com substrato comercial (MecPlant®) no dia 15 de outubro de 2020.

Tratamentos

Os tratamentos foram realizados através de esquema fatorial 2x5, onde o primeiro fator foi a presença e ausência do fungo micorrízico arbuscular *Rhizophagus clarus* (FMA's) enquanto que o segundo fator foi a utilização de quatro bioestimulantes: testemunha (T), Ácido salicílico (AS), fertilizante silicatado (dióxido de silício – 68,2% + carbonato de Cálcio – 31,8%) (FS), mistura de biofertilizantes em pulverização (FSCA+SFA) e *Bacillus velezensis* (BV).

Nos tratamentos com ácido salicílico, as sementes foram embebidas, por cinco minutos, em solução de ácido salicílico (99% de pureza) diluídos em água destilada na concentração de 50 mg L⁻¹.

O substrato utilizado nos tratamentos com micorrizas, foi misturado com inóculos de *R. clarus* (esporos, micélios e raízes colonizadas) fornecidos pelo Laboratório de Ecologia Microbiana (Universidade Estadual de Londrina, Londrina, PR, Brasil), numa concentração de 50 esporos por célula da bandeja.

O tratamento com silício foi realizado com o produto composto de carbonato de cálcio (31,8%) + dióxido de silício (68,2%) proveniente de terra de diatomáceas (Tech Crop® Si, Tech Crop®, São Miguel Arcanjo, SP) misturado no substrato (1%). A mistura de biofertilizantes utilizada em pulverização foi composta do mesmo fertilizante silicato (1,5 kg/há 200l calda) + extrato de algas com alginatos (Tech Crop Active®) (200 ml/200 l calda) + D-glucosamina (proveniente de quitosana) com sulfato de cobre (Tech crop Power cup®) (300 l calda/200l calda). Para Si foram feitas duas aplicações com 5 e 20 dias após o transplante. O *B. velezensis* foi aplicado com 5 dias após o transplante (200 ml/100 L da calda).

Estes produtos foram testados previamente em experimentos na UEL e apresentaram incremento de produção e diminuição da incidência de doenças em tomateiro, pepino, trigo, aveia e soja. O produto Tech Crop Activ® contém em sua formulação extratos de algas marrons *Ascomphylum nodosum* com tratamento para liberação de polímeros polioânicos alginatos. Também fornecem fitoreguladores (Auxinas, citocininas e giberilinas) e aminoácidos que são carreadores de nutrientes e possibilitam maior absorção pelas plantas.

Já o produto Tech Crop Power Cup® contém d-glucosamina, que foi extraído de quitosana, e sulfato de cobre. Aos 25 dias após semeadura foram transferidas duas mudas para cada vaso plástico de 5L contendo Latossolo Vermelho eutroférico e esterco curtido (1:1).

Fotossíntese, Transpiração e Índice Falker

Os dados foram obtidos por metodologia não-destrutiva, evitando danificar as folhas e comprometer a produção. As análises de trocas gasosas foliares foram realizadas no dia 08 de dezembro de 2020, entre 08h e 09h utilizando o equipamento portátil LI-6400XT Bioscience com um analisador de gás infravermelho (IRGA - Infrared gas analyser). Também se realizaram medições utilizando o equipamento Clorofilog 1030 Falker. As medições foram feitas imediatamente antes das coletas das amostras descritas acima.

Altura e Produção

Foram avaliados produção e peso médio de frutos. A produção foi determinada através da colheita em três cachos quando os frutos foram contados e pesados. Após a colheita, com a soma da massa dos frutos, foi calculada a massa média de frutos por planta em cada tratamento.

A altura de planta, medida a partir da inserção do colo até o ápice da planta, e o diâmetro da haste principal, determinado a partir da inserção do colo, foram aferidos 30 dias após o transplântio.

Análises estatísticas

Foi utilizado o software R Core Team, pacote AgroR, para as análises estatísticas. Os dados foram submetidos ao teste de normalidade dos resíduos e homocedasticidade das variâncias. Atendidos estes pressupostos, foram realizadas análise de variância. As interações significativas foram desdobradas e as médias, comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

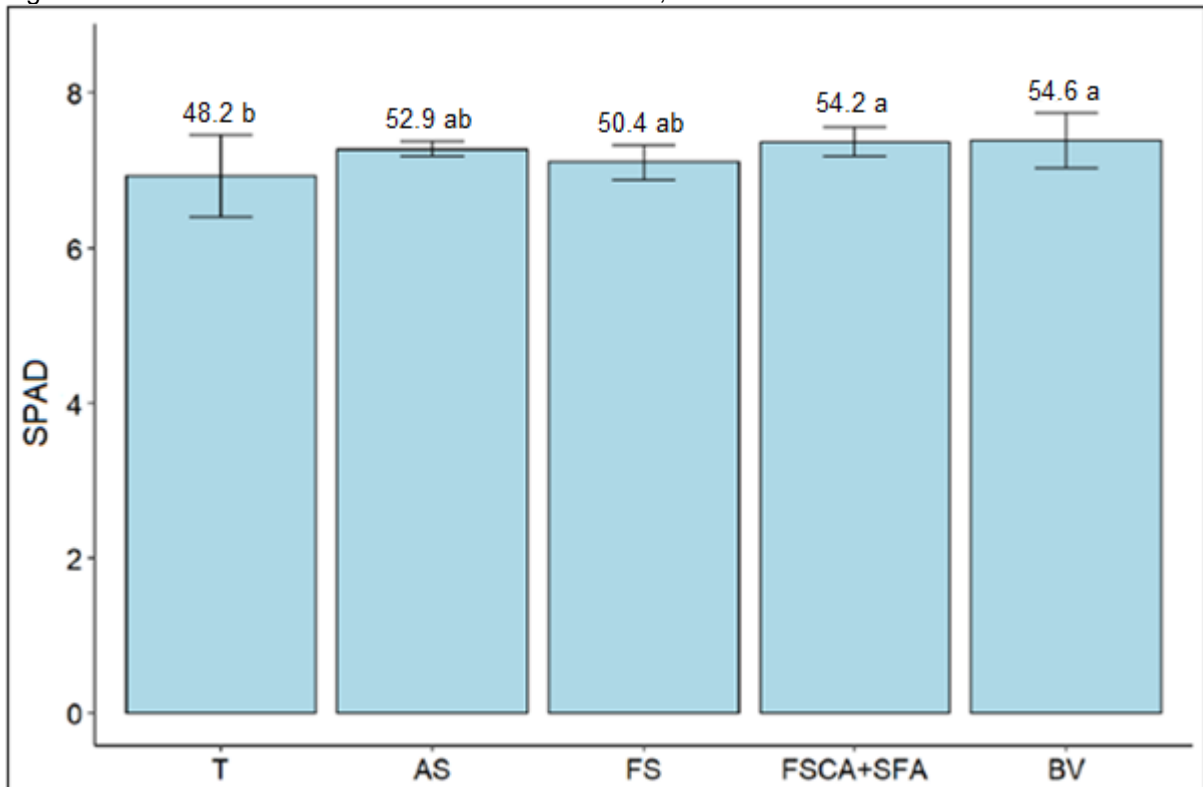
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na avaliação da fotossíntese e transpiração (tab. 1) utilizando o equipamento IRGA, os resultados foram semelhantes entre os diferentes tratamentos. É possível inferir que os diferentes tratamentos não interferiram na assimilação de CO₂ e nem provocaram maiores perdas de água. Uma outra possibilidade, seria de que os tratamentos podem ter afetado esses parâmetros em momentos diferentes daqueles em que foram avaliados.

Os valores obtidos para o índice Falker foram menores no tratamento testemunha, com e sem FMA's, enquanto que os valores obtidos para os tratamentos mistura de bioestimulantes e *B. velezensis* foram maiores do que os tratamentos testemunha. Para o fator presença x ausência de micorrizas, valores similares foram obtidos. Estudos prévios têm demonstrado associação entre os valores obtidos por índice Falker e os teores de N nas plantas (CASTRO, 2005; MARTINS et al., 2010; SILVA E MOURA, 2013; SANTOS E CASTILHO, 2015), portanto, valores superiores de índice Falker podem eventualmente indicar teores mais elevados desse nutriente nas folhas (CASTRO et al., 2014). Em morangueiro, a associação da micorriza *Glomus intraradices* com *B. velezensis* proporcionou incremento do índice Falker e parâmetros relacionados ao crescimento de plantas (PALENCIA et al., 2015).

Isso pode ser explicado pelo fato do Nitrogênio (N) ser um dos elementos químicos de maior demanda durante crescimento e desenvolvimento dos vegetais, sendo constituinte de proteínas e da molécula de clorofila (TAIZ, ZEIGER, 2017).

Figura 1. Índice Falker de folhas de tomateiro. Londrina, 2021.



Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade; Testemunha (T), Ácido salicílico (AS), fertilizante silicatado (dióxido de silício – 68,2% + carbonato de Cálcio – 31,8%) (FS), mistura de biofertilizantes em pulverização (FSCA+SFA) e *Bacillus velezensis* (BV).

Assim, diferentes concentrações de N foliar podem apresentar, como resultado, alterações nas concentrações de clorofila, que influenciam na capacidade fotossintética devido a mudanças nas fases bioquímicas e fotoquímicas da fotossíntese. Da mesma forma, a assimilação e transporte de CO₂. Assim, a fotossíntese pode ser avaliada pela liberação de O₂ ou assimilação de CO₂ (CASTRO, 2005). Porém no presente estudo, o aumento do teor de clorofila não influenciou na fotossíntese e transpiração, ou não aumentaram na magnitude possível de ser detectada pelas análises realizadas. É possível que o fato de as medições terem sido feitas em períodos diferentes possa ter condicionado a falta de respostas, principalmente em relação à fotossíntese e transpiração.

Tabela 1. Fotossíntese, Transpiração, Índice Falker, Massa fresca média por tratamento (MFMT) e Massa fresca média por fruto (MFMF) em tomateiros submetidos a diferentes tratamentos. Londrina 2021.

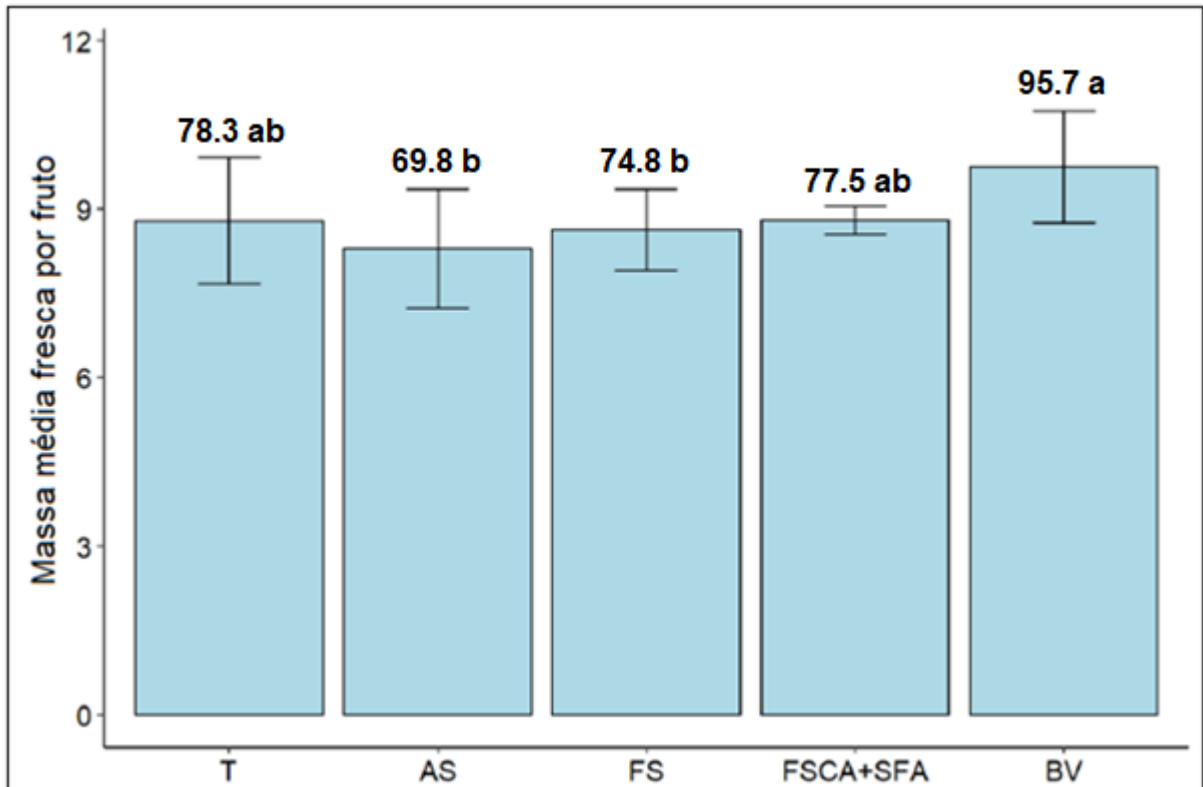
FMA	Tratamentos	Fotossíntese	Transpiração	Falker	Produção	
					MFMT	MFMF
SEM	T	12.7	5.5	47.1 b	763,0	73.9 ab
	AS	14.2	5.9	49.4 ab	533,5	58,9 b
	FS	16.8	6.9	53.3 ab	635,7	68,5 b
	FSCA + SFA	15.6	6.7	51.3 a	814,0	77,5 ab
	BV	14.5	5.9	52.1 a	519,5	100,9 a
COM	T	19.1	6.8	52.4 b	777,0	82,8 ab
	AS	14.5	6.4	49.6 ab	742,2	80,7 b
	FS	14.5	6.9	56.3 ab	640,5	81,1 b
	FSCA + SFA	18.4	7.1	54.3 a	691,5	77,5 ab
	BV	15.2	6.1	54.9 a	906,0	90,6 a
CV (%)		22.97	20.71	10.05	43.7	21,12
FMA	SEM	14.7 ^{ns}	6.1 ^{ns}	50.6 ^{ns}	657.1 ^{ns}	75.9 ^{ns}
	COM	16,4 ^{ns}	6.6 ^{ns}	53,5 ^{ns}	751,4 ^{ns}	82.5 ^{ns}

Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade; ns: não significativo. Testemunha (T), Ácido salicílico (AS), fertilizante silicatado (dióxido de silício – 68,2% + carbonato de Cálcio – 31,8%) (FS), mistura de biofertilizantes em pulverização (FSCA+SFA) e *Bacillus velezensis* (BV).

De maneira geral, valores estatisticamente similares foram obtidos para a MFMT. Quando comparado ao tratamento testemunha (sem micorriza e sem outros bioestimulantes), verificou-se que, numericamente, foram obtidas produções 6,7 e 18,7% superiores para os tratamentos BV e micorrizas + BV.

Em relação à MFMF (tab. 1 e fig. 2), o fator FMA não foi significativo, mas na comparação entre os outros bioestimulantes, naqueles com BV, verificaram-se maiores produções em comparação com ácido salicílico e silício.

Figura 2. Massa fresca média por fruto (MFMF) de tomateiros submetidos a diferentes tratamentos. Londrina, 2021.

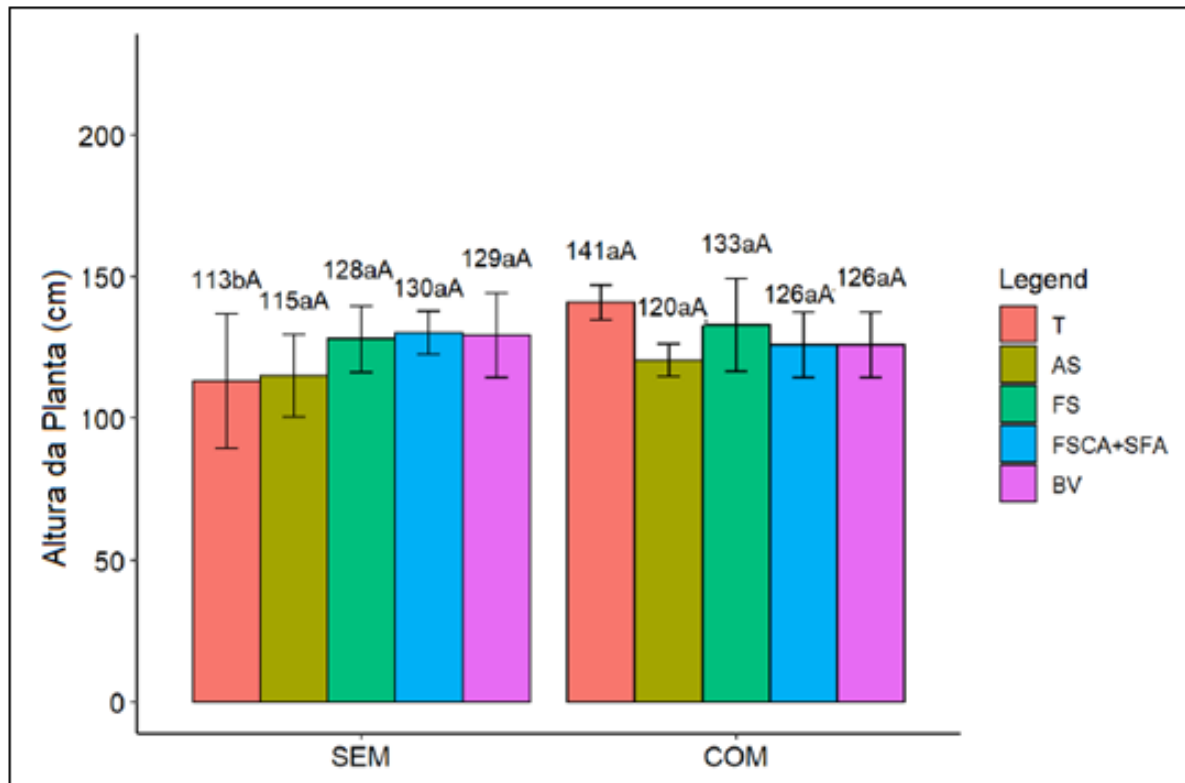


Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Testemunha (T), Ácido salicílico (AS), fertilizante silicatado (dióxido de silício – 68,2% + carbonato de Cálcio – 31,8%) (FS), mistura de biofertilizantes em pulverização (FSCA+SFA) e *Bacillus velezensis* (BV).

Plantas que acionam rotas para defesa podem ter redução na produtividade. Alterações no metabolismo levam a um custo de adaptação que pode não ser benéfico (IRITI, FAORO, 2003). Alguns experimentos para induzir resistência relataram aumento na produtividade, porém, outros experimentos não apresentaram ganho na produção (GODARD et al., 1999; DIETRICH et al., 2005).

Na avaliação da altura de planta (tab. 2 e fig. 3), houve interação entre os fatores. Plantas que não receberam bioestimulantes apresentaram maior altura na presença de micorriza. Em relação aos demais bioinoculantes, resultados similares foram obtidos.

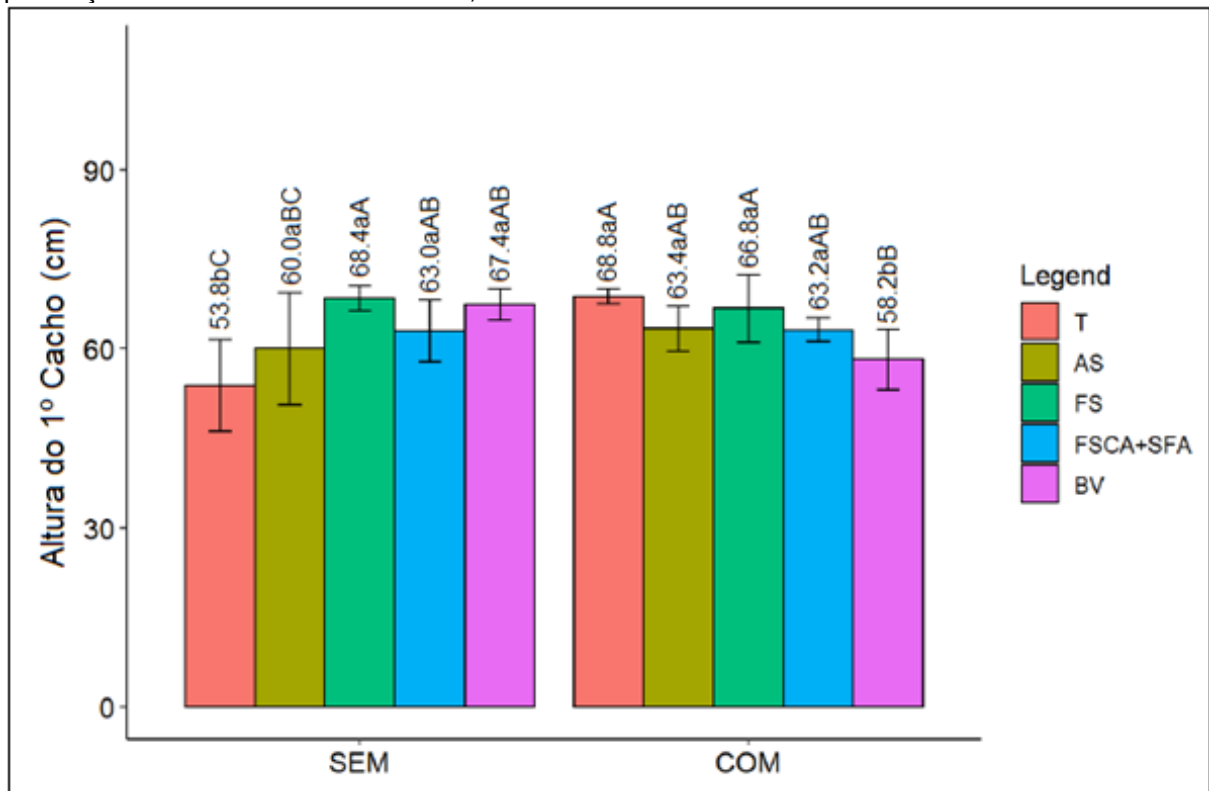
Figura 3. Média de altura de planta de tomateiro inoculadas ou não com micorriza, e tratadas com diferentes bioestimulantes. Londrina, 2021.



Barras com mesma letra minúscula representam médias que não diferem entre si para o mesmo bioestimulantes (fator 2) tratados ou não com micorrizas (fator 1); e seguida pela mesma letra maiúscula, representam diferenças entre os bioestimulantes (fator 2) dentro do fator micorriza (fator 1) pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Testemunha (T), Ácido salicílico (AS), fertilizante silicatado (dióxido de silício – 68,2% + carbonato de Cálcio – 31,8%) (FS), mistura de biofertilizantes em pulverização (FSCA+SFA) e *Bacillus velezensis* (BV).

Assim como observado para a altura do primeiro cacho, houve interação entre os fatores. Plantas nas quais não se aplicaram bioestimulantes (fator 2) apresentaram maiores alturas de inserção do primeiro cacho em plantas inoculadas com micorriza do que plantas sem inoculação. Em plantas não micorrizadas, plantas tratadas com FS apresentaram inserções mais altas do que a testemunha e plantas tratadas com AS. Já em plantas micorrizadas, plantas tratadas com FS foram superiores ao tratamento *B. velezensis*.

Figura 4. Média de altura do 1º cacho em tomatesiros submetidos a diferentes tratamentos na presença e ausência de FMA. Londrina, 2021



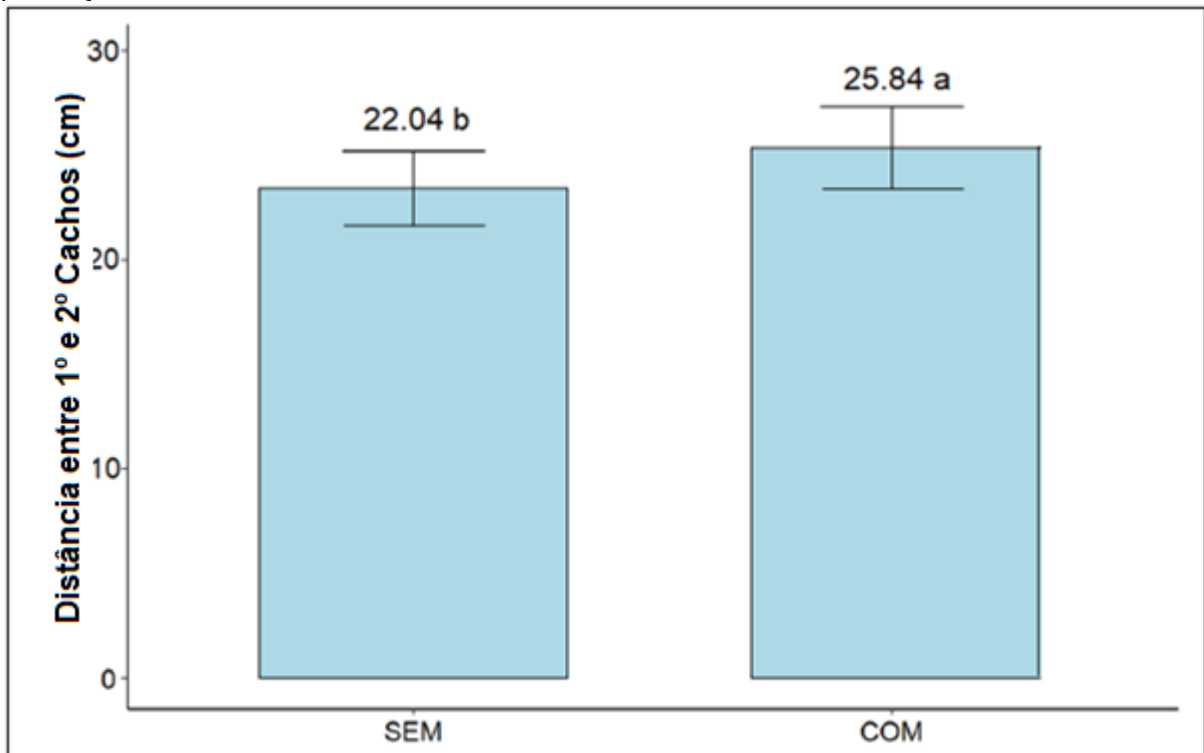
Barras com mesma letra minúscula representam médias que não diferem entre si para o mesmo bioestimulante (fator 2) tratados ou não com micorrizas (fator 1); e seguida pela mesma letra maiúscula, representam diferenças entre os bioestimulantes (fator 2) dentro do fator micorriza (fator 1) pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Testemunha (T), Ácido salicílico (AS), fertilizante silicatado (dióxido de silício – 68,2% + carbonato de Cálcio – 31,8%) (FS), mistura de biofertilizantes em pulverização (FSCA+SFA) e *Bacillus velezensis* (BV).

É conhecido que os AS pode interferir no crescimento das plantas pela alteração da biossíntese de lignina, podendo resultar em uma rigidez na parede celular secundária que leva ao impedimento na elongação celular (GALLEGO-GIRALDO et al., 2011).

O AS reduz a produção de etileno, alterando a síntese do ácido 1-carboxílico-1-aminociclopropano (ACC), e como o etileno atua sobre crescimento dos vegetais, a aplicação exógena pode influenciar negativamente no crescimento da planta, dependendo da concentração utilizada, da espécie e condições de cultivo (KERBAUY, 2008).

Avaliando a distância entre 1º e 2º cachos (tabela 2 e figura 5), foi observado que a presença de FMA apresentou valor maior em comparação com os tratamentos realizados sem.

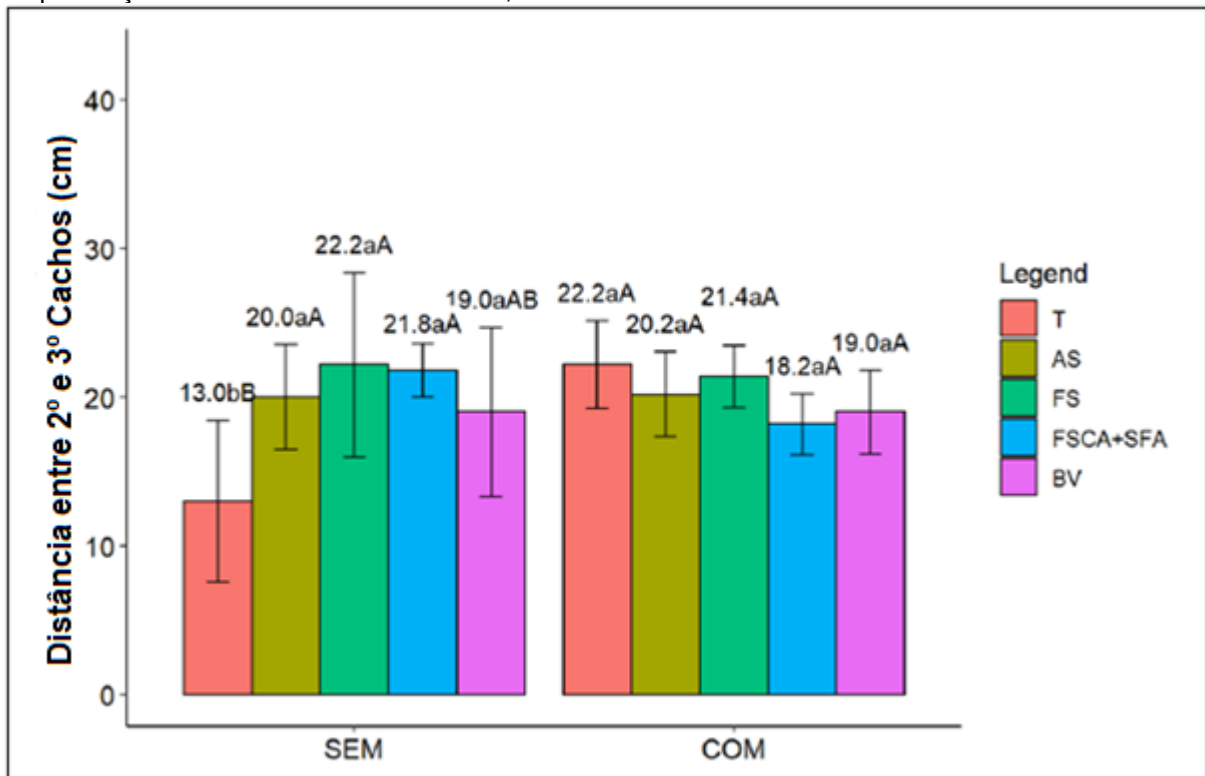
Figura 5. Média de altura entre 1º e 2º cachos em tomateiros submetidos a diferentes tratamentos na presença e ausência de FMA. Londrina, 2021



Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade;

Já para a distância entre 2º e 3º cachos (tabela 2 e figura 6) também se verificou interação entre os fatores. Plantas nas quais não se aplicaram bioestimulantes (fator 2) apresentaram maiores distância em plantas inoculadas com micorriza do que plantas sem inoculação (fator 1). Em plantas não micorrizadas, aquelas tratadas com fertilizante silicatado, mistura de bioestimulantes (FSCA + SFA) e ácido salicílico apresentaram maiores valores do que plantas sem aplicação de bioestimulantes.

Figura 6. Média da distância entre 2º e 3º cachos em tomateiros submetidos a diferentes tratamentos na presença e ausência de FMA. Londrina, 2021



Barras com mesma letra minúscula representam médias que não diferem entre si para o mesmo bioestimulante (fator 2) tratados ou não com micorrizas (fator 1); e seguida pela mesma letra maiúscula, representam diferenças entre os bioestimulantes (fator 2) dentro do fator micorriza (fator 1) pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Testemunha (T), Ácido salicílico (AS), fertilizante silicatado (dióxido de silício – 68,2% + carbonato de Cálcio – 31,8%) (FS), mistura de biofertilizantes em pulverização (FSCA+SFA) e *Bacillus velezensis* (BV).

De maneira geral, os resultados obtidos demonstram que os tratamentos influenciaram a altura da planta e do primeiro cacho e a distância entre primeiro e segundo. Esses resultados podem representar maior desenvolvimento da planta. Porém, em muitas circunstâncias, inserções e distâncias menores, podem até representar um maior equilíbrio nutricional (RADI, 2021). Entretanto, neste caso, como as plantas foram conduzidas em vasos, limitações no sistema radicular podem ter afetados os resultados. Uma grande colonização de FMA's pode não estar diretamente ligada ao crescimento vegetal. Previamente, observando-se que diferentes FMA's apresentam grande variação na colonização radicular e promoção de crescimento (JAIZME-VEJA; AZCÓN, 1995). É comum observar que a eficácia dos FMA's está atrelada ao número de micélios presentes no solo, apresentando alta colonização, entretanto o número de hifas externas varia muito de espécie para espécie, sendo que são as hifas que promovem maior absorção dos nutrientes (MARSCHNER, 1995).

Os benefícios causados pelos FMA's foram observados em diversas condições e espécies vegetais, como crescimento vegetal devido a alterações na nutrição das plantas (ANTONIOLLI; KAMINSKI, 1991; SMITH; READ, 1997; BRESSAN et al., 2001).

Tabela 2. Altura de planta (AP); altura do primeiro cacho (Alt 1º CH); distância entre o primeiro e o segundo cachos (1º-2º CH) e distância entre o segundo e terceiro cachos (2º-3º CH) em plantas de tomateiro submetidas a diferentes tratamentos. Londrina, 2021.

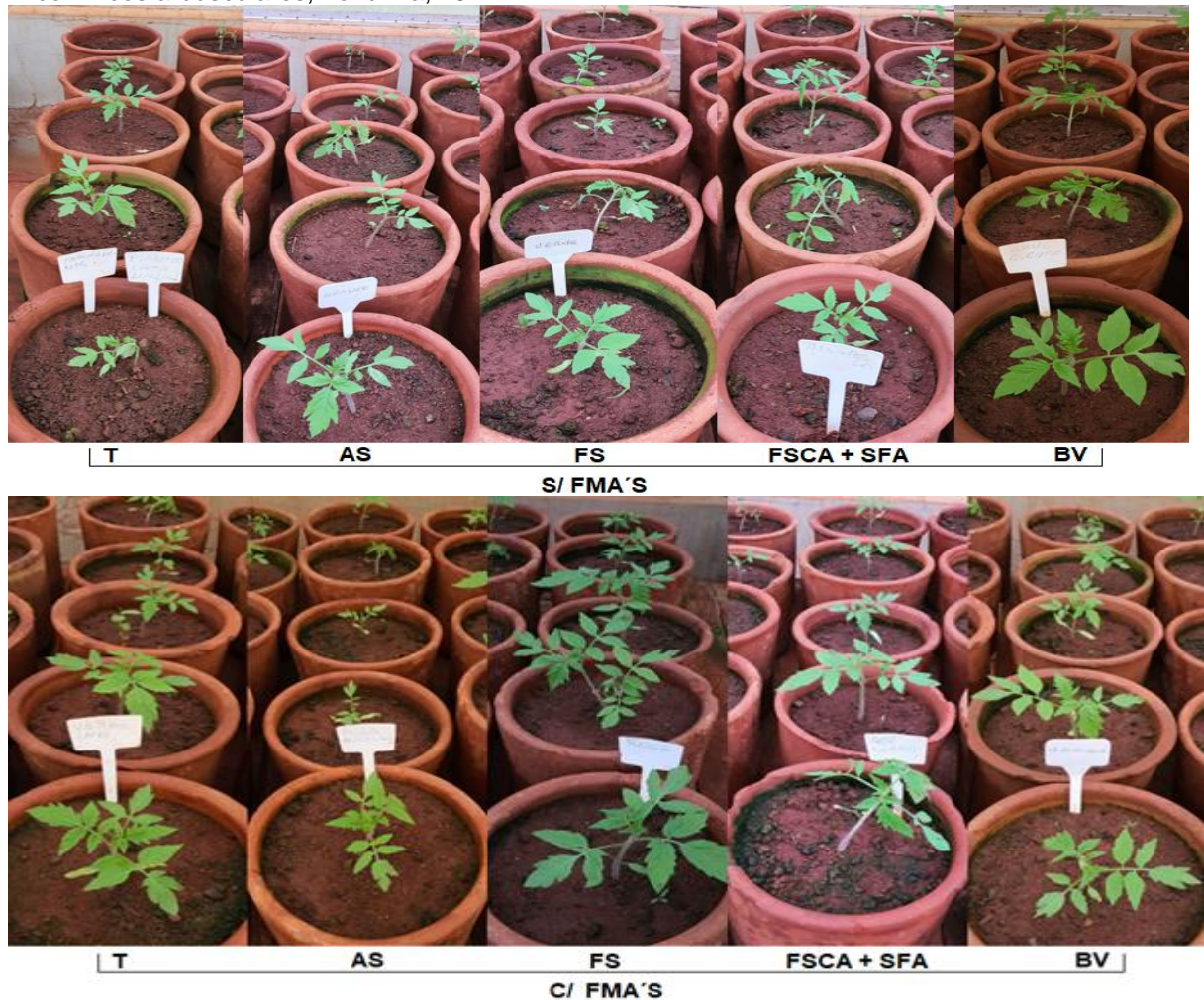
FMA	Tratamentos	AP (cm)	Alt 1º Ch (cm)	1º - 2º Ch (cm)	2º - 3º Ch (cm)
SEM	T	113.2 bA	53,7 bC	21,7	13,0 bB
	AS	115.0 aA	60,0 aBC	20,2	20,0 aA
	FS	128.0 aA	68,5 aA	23,2	22,5 aA
	FSCA + SFA	130.2 aA	63,0 aAB	21,7	21,7 aA
	BV	129.5 aA	67,5 aAB	23,2	19,0 aA
COM	T	141.0 aA	68,7aA	27,5	22,2 aA
	AS	120.5 aA	63,5 aAB	27,0	20,2 aA
	FS	133.0 aA	66,7 aA	23,5	21,8 aA
	FSCA + SFA	126.0 aA	63,5 aAB	24,3	18,7 aA
	BV	126.0 aA	58,2 bB	27,2	19,0 aA
CV %		9.39	8.56	18.26	22.58
FMA	SEM	123.2 ^{ns}	62.5 ^{ns}	22.04 b	19.2 ^{ns}
	COM	129.3 ^{ns}	64,1 ^{ns}	25.84 a	20.3 ^{ns}

Médias seguidas por letras minúsculas distintas na coluna diferem a presença e ausência de FMA no teste de Tukey, a 5% de probabilidade, ns: não significativo. Médias seguidas por letras maiúsculas distintas na coluna diferem entre si nos tratamentos no teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Testemunha (T), Ácido salicílico (AS), fertilizante silicatado (dióxido de silício – 68,2% + carbonato de Cálcio – 31,8%) (FS), mistura de biofertilizantes em pulverização (FSCA+SFA) e *Bacillus velezensis* (BV).

Os resultados obtidos no presente estudo confirmam que os FMA's, associados e/ou em simbiose com tomateiros, alteraram a estrutura dos vegetais através da modificação do comprimento entre nós. Características relacionadas ao arranjo do dossel vegetal são alvos de pesquisas que almejam crescimento da produtividade, na qual a taxa fotossintética pode ser determinada pela disposição dos cachos e sua capacidade de interceptação luminosa (PEARCY; MURAOKA; VALLADARES, 2005; ZHU; SONG; ORT, 2012).

Em estudo prévio, evidenciou-se o efeito positivo da mistura de quitosana com micorrizas, entretanto, neste caso, a aplicação da quitosana não foi feita em pulverização, mas diretamente no solo (EL AMERANY; RHAZI; WAHBIC; TAOURIRTEB; MEDDICH, 2005). Assim, é possível em novos estudos avaliar esta possibilidade, incluindo também outros tratamentos para os quais houve destaque em alguns dos parâmetros considerados.

Figura 7. Tomateiros tratados com diferentes bioestimulantes na presença e ausência de fungos micorrízicos arbusculares, Londrina, 2021.



CONCLUSÃO

Os tratamentos com mistura de biofertilizantes ou *B. velezensis* proporcionaram aumento no índice Falker. Entretanto, alterações significativas não foram detectadas para taxa fotossintética e transpiração. FMA's estimularam o aumento da altura das plantas, bem como a distância entre cachos.

6 ARTIGO 3

INCIDÊNCIA DE MOSCA-BRANCA, ÁCARO-VERMELHO E OÍDIO EM TOMATEIROS TRATADOS COM DIFERENTES BIOESTIMULANTES

RESUMO

Na safra de 2019-2020, a produção de tomate de mesa no estado do Paraná foi de aproximadamente 234 mil toneladas, alcançando quase 5 mil ha plantados. Embora disponha de grande mercado consumidor, o fruto dessa solanácea encontra-se constantemente sob risco de perdas tanto quantitativas como qualitativas devido ao ataque de pragas e doenças. O uso de bioestimulante é uma técnica utilizada para otimizar a produtividade, podendo proporcionar incremento no crescimento e desenvolvimento vegetal, e como uma alternativa de biofortificação para ativar o metabolismo secundário, aumentando a resistência das plantas sem prejudicar seu desenvolvimento e produção. Neste estudo, avaliou-se o uso de biofertilizantes em tomateiro relacionados à incidência de mosca-branca *Bemisia tabaci*, ácaro-vermelho *Tetranychus evansi* e oídio *Oidium neolycopersici*, densidade de tricomas e teores de zingibereno. O Experimento foi conduzido na casa-de-vegetação da Universidade Estadual de Londrina, utilizando a cultivar BRS-Nagai, onde as sementes foram tratadas seguindo esquema fatorial 2x5, onde o primeiro fator foi a presença e ausência do fungo micorrízico arbuscular *Rhizophagus clarus* (FMA's) enquanto que o segundo fator foi a utilização de cinco bioestimulantes: testemunha (T), Ácido salicílico (AS), fertilizante silicatado (dióxido de silício – 68,2% + carbonato de Cálcio – 31,8%) (FS), mistura de biofertilizantes em pulverização (FSCA+SFA) e *Bacillus velezensis* (BV). Os dados obtidos foram submetidos a testes de normalidade, homocedasticidade, análise de variância pelo teste de Tukey a 5% e correlação de Spearman. Desta maneira, os FMA's estimularam aumento no número de tricomas, aumentaram o teor de zingibereno quando associados com bacilos, reduziram a população de mosca-branca em sinergismo com bioestimulantes (FSCA + SFA) em mistura. Também promoveram uma redução na população de ácaros em associação com AS e reduziram a incidência de oídio no tratamento isolado e associado ao tratamento com mistura de biofertilizantes.

ABSTRACT

In the 2019-2020 harvest, the production of table tomatoes in the state of Paraná is approximately 234 thousand tons, reaching almost 5 thousand ha, and even with the great acceptance of the market, the price of tomatoes fluctuates due to the influence of negative factors. As pests and diseases that attack the culture, highlighting the whitefly, red mite and powdery mildew, which may decrease the quality of the fruit. The use of biostimulant is a technique used to optimize productivity, which can provide an increase in plant growth and development, and also as an alternative for biofortification to activate secondary metabolism, increasing plant resistance without harming its development and production. In this study, the use of biofertilizers in tomato related to the incidence of whitefly, red mite and powdery mildew, trichome

density and zingiberene levels were evaluated. The experiment was carried out in the greenhouse of Universidade Estadual de Londrina, using the cultivar BRS-Nagai, where the seeds were treated following a 2x5 factorial scheme, where the first factor was the presence and absence of the arbuscular mycorrhizal fungus *Rhizophagus clarus* (FMA's) while the second factor was the use of five biostimulants: control (T), salicylic acid (AS), silicate fertilizer (silicon dioxide – 68.2% + calcium carbonate – 31.8%) (FS), mixture of sprayed biofertilizers (FSCA+SFA) and *Bacillus velezensis* (BV). The data obtained were submitted to tests of normality, homoscedasticity, analysis of variance by Tukey's test at 5% and Spearman's correlation. In this way, the FMA's stimulated an increase in the number of trichomes, increased the zingiberene content when associated with bacilli, reduced the amount of whitefly in synergism with the mixture of biostimulants (FSCA + SFA) in the mixture. They also promoted a reduction in the number of mites in association with AS and reduced the incidence of powdery mildew in the isolated treatment and associated with the treatment with a mixture of biofertilizers.

INTRODUÇÃO

Na safra de 2019-2020, a produção total do mercado de tomate de mesa no estado do Paraná foi de aproximadamente 234 mil toneladas, alcançando quase 5 mil ha (SABELLI et al., 2020). Apesar da grande aceitação do mercado e da sua ampla dispersão no Estado, o preço do tomate pode oscilar devido a influência de fatores negativos, promovendo baixo retorno financeiro. Entre os fatores preocupantes, aqueles que mais influenciam na produção e na qualidade dos frutos, estão as pragas e doenças que atacam a cultura (ALCEDO; REYES, 2018).

Entre as pragas, destaca-se a mosca-branca principalmente porque seu controle é dificultado por se localizar na face abaxial das folhas (VILLAS BÔAS et al., 1997), podendo causar grandes perdas na produção e transmissão de viroses (CARNEIRO et al., 1999; GALLO et al., 2002).

O ácaro-vermelho também é considerado uma praga com importância crescente, se concentrando na parte mediana da planta, abaixo das folhas, provocando, inicialmente o amarelecimento seguido de secamento e desfolha, fazendo com que os frutos fiquem expostos ao sol, não adquirindo a cor vermelha características (MORAES; FLETCHMANN, 2008).

Um das doenças mais comuns do tomateiro é o oídio, onde a característica mais observada, é a presença, em grande quantidade, das estruturas fúngicas na parte adaxial das folhas, semelhante a um pó fino e branco, podendo

causar torção e queda das folhas, perda de flores e deformação de frutos (LOPES; ÁVILA, 2005).

O uso de bioestimulantes é uma técnica agronômica muito utilizada para otimizar a produtividade de diversas culturas (DOURADO NETO ET AL., 2004), sendo que os bioestimulantes podem proporcionar incremento no crescimento e desenvolvimento vegetal, por estimular a divisão celular, diferenciação e alongamento das células, aumentar a absorção e uso de água e nutrientes das plantas (CASTRO & VIEIRA, 2001) e também como uma alternativa de biofortificação para ativar o metabolismo secundário, aumentando a resistência das plantas sem prejudicar seu desenvolvimento e produção (MESSIAS et al., 2013).

Assim, neste estudo, avaliou-se o uso de biofertilizantes em tomateiro relacionados à incidência de mosca-branca *Bemisia tabaci*, ácaro-vermelho *Tetranychus evansi* e oídio *Oidium neolycopersici*, bem como a densidade de tricomas e teores de zingibereno, que são eventuais variáveis com potencial de afetar a incidência dos organismos estudados.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido em casa de vegetação da Universidade Estadual de Londrina (23°19'42" S, 51°12'11" O e altitude 594m), segundo a classificação de Koppen, a região se enquadra no clima tipo Cfa, com verões quentes e baixa frequência de geadas. Foi utilizada a cultivar de tomate BRS NAGAI. As sementes foram colocadas em bandejas de poliestireno preenchidas com substrato comercial (MecPlant®).

Tratamentos

Os tratamentos foram realizados através de esquema fatorial 2x5, onde o primeiro fator foi a presença e ausência do fungo micorrízico arbuscular *Rhizophagus clarus* (FMA's) enquanto o segundo fator foi a utilização de quatro bioestimulantes: testemunha (T), Ácido salicílico (AS), fertilizante silicatado (dióxido de silício – 68,2% + carbonato de Cálcio – 31,8%) (FS), mistura de biofertilizantes em pulverização (FSCA+SFA) e *Bacillus velezensis* (BV).

Nos tratamentos com ácido salicílico, as sementes foram embebidas, por cinco minutos, em solução de ácido salicílico (99% de pureza) diluídos em água destilada na concentração de 50 mg L⁻¹.

O substrato utilizado nos tratamentos com micorrizas, foi misturado com inóculos de *R. clarus* (esporos, micélios e raízes colonizadas) fornecidos pelo Laboratório de Ecologia Microbiana (Universidade Estadual de Londrina, Londrina, PR, Brasil), numa concentração de 50 esporos por célula da bandeja.

O tratamento com silício foi realizado com o produto composto de carbonato de cálcio (31,8%) + dióxido de silício (68,2%) proveniente de terra de diatomáceas (Tech Crop Si®, Tech Crop®, São Miguel Arcanjo, SP) misturado no substrato (1%). A mistura de biofertilizantes utilizada em pulverização foi composta do mesmo fertilizante silicato (1,5 kg/há 200l calda) + extrato de algas com alginatos (Tech Crop Active®) (200 ml/200 l calda) + D-glucosamina (proveniente de quitosana) com sulfato de cobre (Tech crop® Power cup®) (300 l calda/200l calda). Para Si foram feitas duas aplicações com 5 e 20 dias após o transplântio. O *B. velezensis* foi aplicado com 5 dias após o transplântio (200 ml/100 L da calda).

Estes produtos foram testados previamente em experimentos na UEL e apresentaram incremento de produção e diminuição da incidência de doenças em tomateiro, pepino, trigo, aveia e soja. O produto Tech Crop Activ® contém em sua formulação extratos de algas marrons *Ascomphylum nodosum* com tratamento para liberação de polímeros polioânicos alginatos. Também fornecem fitoreguladores (Auxinas, citocininas e giberilinas) e aminoácidos que são carreadores de nutrientes e possibilitam maior absorção pelas plantas.

Já o produto Tech Crop Power Cup® contém d-glucosamina, que foi extraído de quitosana, e sulfato de cobre. Aos 25 dias após semeadura foram transferidas duas mudas para cada vaso plástico de 5L contendo Latossolo Vermelho eutroférico e esterco curtido (1:1).

Teor de zingibereno

Foram retirados 10 discos foliares de folíolos jovens, expandidos do terço superior das plantas, totalizando 10 cm² coletados em 08/12/2020. Os discos foram colocados em microtubos, nos quais se adicionou 2 mL de hexano. Os tubos foram agitados durante 30 segundos para promover a extração do ZGB. Após a agitação,

os discos foliares foram retirados. Foi feita a leitura de absorvância dos extratos, em aparelho espectrofotômetro, em comprimento de onda de 270 nm, sendo essa absorvância diretamente proporcional à quantidade de ZGB no extrato. Esse método é altamente correlacionado a padrões de ZGB obtidos por cromatografia líquida de alta performance (HPLC) (FREITAS et al. 2000).

Tricomas

Folhas foram coletadas a partir do terço médio e suas faces abaxial e adaxial foram observadas e fotografadas em microscopia eletrônica de varredura, coletados em 08/12/2020. As amostras foram previamente fixadas em solução de 2.5% de glutaraldeído, 2% paraformaldeído em tampão cacodilato de sódio 0.1M (pH 7.2) por 24h e, em seguida, desidratadas em série etanólica (30, 50, 70, 90 e 100%), secagem em ponto crítico (BALTEC CPD 030, Critical Point Dryer, Alemanha). A seguir, foram montadas em suportes de alumínio com fita de carbono, pulverizadas com um filme de ouro (BALTEC SDC 050, Sputter Coater, Alemanha) e observadas em microscópio eletrônico de varredura modelo FEI Quanta 200 (FEI Company, Holanda) com atmosfera de alto vácuo (Oliveira et al. 2016). Desta forma, as eletromicrografias foram geradas em modo topográfico (elétrons secundários) a 25 kV.

Os tricomas foram quantificados em uma área de 1 mm² utilizando o software IMAGEJ (Abramoff et al. 2004).

Mosca-branca

Após três dias da análise bioquímica dos tecidos foliares, no dia 04 de fevereiro de 2021, os vasos contendo três plantas cada, tratadas na semeadura e área foliar, foram colocadas em estufa utilizada para criação de manutenção de de mosca-branca no IDR-PR. A avaliação da mosca-branca foi realizada três dias após a infestação, contando-se os adultos e ovos em dois folíolos, observadas ao acaso, no terço superior da planta.

Ácaro-vermelho

A incidência do ácaro-vermelho ocorreu naturalmente. As avaliações se iniciaram no aparecimento dos sintomas (pequenas pontuações amareladas nas folhas). Formas móveis do ácaro foram contabilizados com uma lupa de bolso de 10x de aumento em 1 cm² de área foliar. Três observações foram realizadas em cada planta (parcela) em folhas do terço médio. As observações foram realizadas na área central das folhas. As contagens foram realizadas em três datas: 12, 19 e 27 de fevereiro de 2021.

Oídio

As infestações de oídio ocorreram naturalmente na casa-de-vegetação. A avaliação da severidade foi realizada com base na escala diagramática proposta por Sepúlveda-Chavera et al. (2013). Cada planta foi considerada uma parcela. Em cada planta foi realizada a avaliação em três folhas, uma em cada terço da planta (terço superior, médio e inferior). As avaliações foram realizadas em três datas: 16 e 30 de dezembro de 2020 e 06 de janeiro de 2021. O efeito dos tratamentos foi avaliado também por meio do cálculo da área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), segundo a fórmula:

$$\text{AACPD: } \sum \{[0.5 \times (A_n + A_{n+1})]/D\} \quad (1)$$

Onde:

A_n : Severidade de oídio na avaliação 'n';

A_{n+1} : Severidade de oídio na avaliação seguinte (n + 1);

D: Número de dias entre a avaliação 'n' e a avaliação 'n + 1'.

Análises estatísticas

Foi utilizado o software R Core Team, pacote AgroR, para as análises estatísticas. Os dados foram submetidos ao teste de normalidade dos resíduos e homocedasticidade das variâncias. Atendidos estes pressupostos, foram realizadas análise de variância. As interações significativas foram desdobradas e as médias,

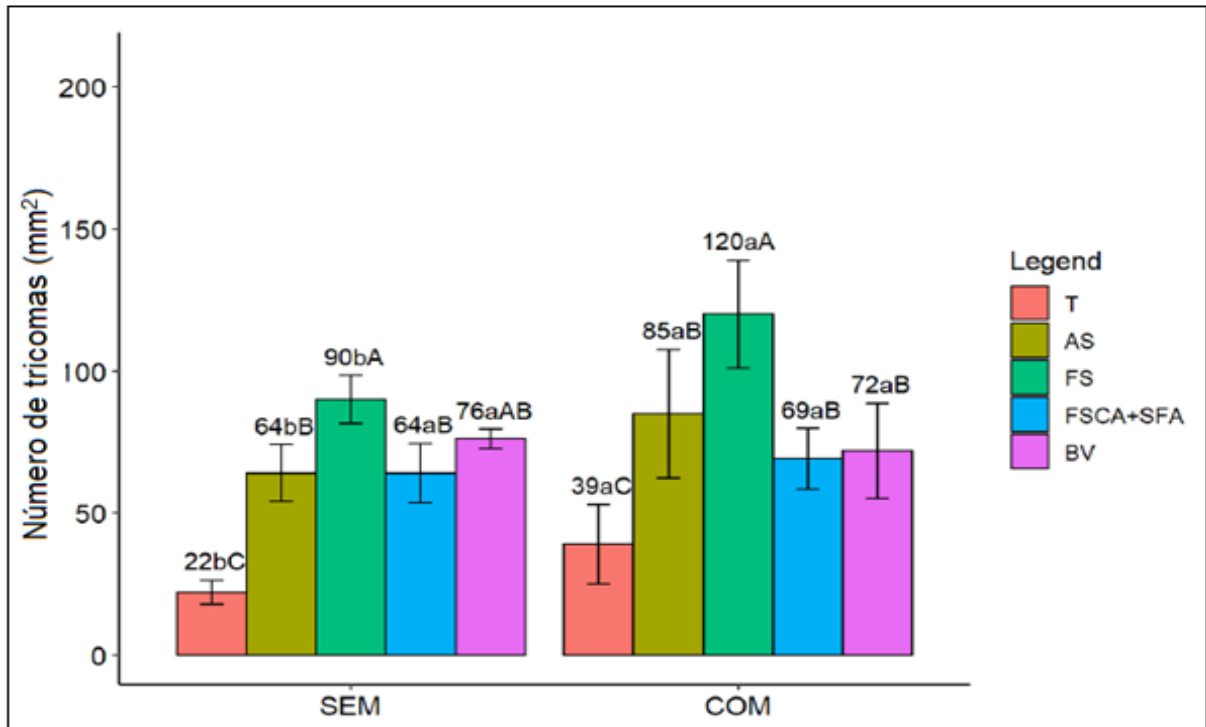
comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, e quando necessário, realizado a correlação de Spearman.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em relação aos tricomas totais (tabela 1 e figura 1), maior número de tricomas foram verificados em plantas micorrizadas do que aquelas não micorrizadas (fator 1). Maior número também foi constatado nos tratamentos testemunha, ácido salicílico e fertilizante silicatado que foram micorrizados do que nos tratamentos sem micorrizas. Na comparação entre os bioestimulantes que não foram micorrizados, verificou-se que maior número no tratamento com fertilizante silicatado. Valores intermediários para mistura de bioestimulantes, ácido salicílico e *B. velezensis*. Na testemunha foi registrado o menor número. Também nas plantas micorrizadas, o fertilizante silicatado proporcionou incremento significativo no número de tricomas. Na testemunha, verificaram-se os menores valores e valores intermediários foram observados nos demais tratamentos.

Pode-se inferir que os bioestimulantes, principalmente o silício, proporcionou aumento na resistência, pois essas estruturas podem conferir deterrência física e/ou química (AZIZ; KAPOOR, 2018; CHEN et al., 2018). Esses resultados corroboram estudos prévios nos quais se verificou que FMA's podem causar alterações morfológicas como o aumento de tricomas (MANDAL et al., 2015; COPETTA; LINGUA; BERTA, 2006).

Figura 1. Número de tricomas totais em tomateiros submetidos a diferentes tratamentos inoculados ou não com FMA. Londrina, 2021.



Barras com mesma letra minúscula representam médias que não diferem entre si para o mesmo bioestimulante (fator 2) tratados ou não com micorrizas (fator 1); e seguida pela mesma letra maiúscula, representam diferenças entre os bioestimulantes (fator 2) dentro do fator micorriza (fator 1) pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Testemunha (T), Ácido salicílico (AS), fertilizante silicatado (dióxido de silício – 68,2% + carbonato de Cálcio – 31,8%) (FS), mistura de biofertilizantes em pulverização (FSCA+SFA) e *Bacillus velezensis* (BV).

Para os teores de zingibereno (tabela 1), valores similares foram obtidos para os tratamentos com e sem micorriza. Incrementos nesta substância, só foram observados para plantas nas quais se aplicou o *B. velezensis*. O gênero *Bacillus* é conhecido por estimular o metabolismo secundário e indução de resistência sistêmica em plantas (PODILE E KISHORE, 2006) (BLOEMBERG E LUGTENBERG, 2001; BENEDUZI ET AL., 2012; ZHANG ET AL., 2015). Acredita-se que, neste tratamento, houve ativação na rota do ácido mevalônico e metileritritol fosfato, responsáveis pela produção de zingibereno (TAIZ; ZEIGER, 2017).

Para a incidência de adultos de mosca-branca (tabela 1 e figura 2) verificou-se significância para o fator 2. No tratamento com mistura de bioestimulantes (FSCA + SFA), houve maior incidência do inseto do que os demais bioestimulantes em plantas não tratadas com micorrizas. Porém, no tratamento com mistura de biofertilizantes micorrizados observou-se redução significativa da incidência em comparação com aquelas não micorrizadas.

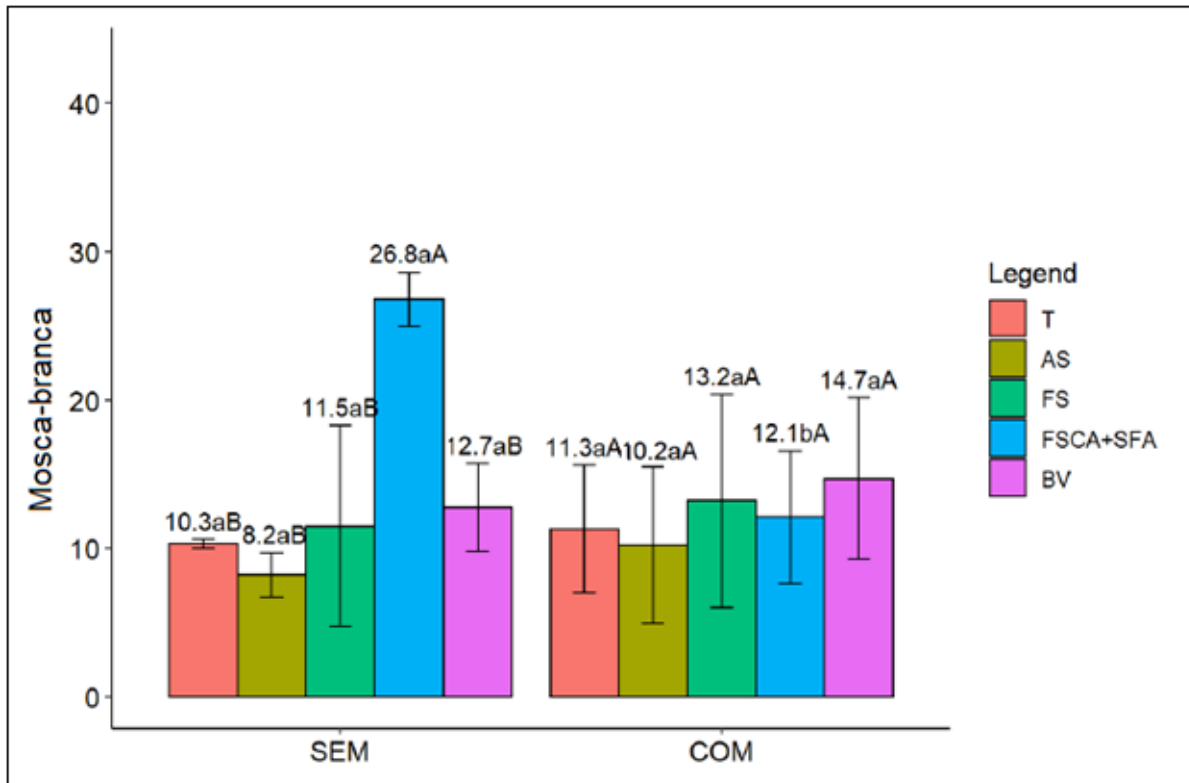
Silva et al. (2008) constatou que bioestimulantes provocam aumento do potencial genético dos vegetais através de mudanças nas rotas metabólicas vitais, promovendo equilíbrio hormonal e melhorando o desenvolvimento geral das plantas, Khan et al. (2009) reportaram que compostos que contém algas podem atuar como bioestimulantes, influenciando positivamente em rotas metabólicas secundárias e, como consequência, reduzindo a incidência de pragas.

Tabela 1. Número de adultos de mosca-branca *Bemisia tabaci* e formas móveis de Ácaro-Vermelho *Tetranychus evansi*, e incidência de Oídio *Oidium lycopersici* em tomateiros submetidos a diferentes tratamentos. Londrina 2021.

	Tratamentos								
	FMA	T	AS	FS	FSCA+SF A	BV	CV %	FMA (S/C)	
Tricomas	SEM	22 bC	64 bB	90 bA	64 aB	76 aAB		63,2 b	
Totais mm ²	COM	39 aC	85 aB	120 aA	69 aB	72 aB	13.48	77,0 a	
Zingibereno	SEM	0.592 b	0.429 b	0.545 b	0.412 b	0.861 a		0,56 a	
UAbs	COM	0.514 b	0.581 b	0.358 b	0.290 b	0.757 a	31.48	0,50 a	
Mosca -	SEM	10.3 aB	8.2 aB	11.5 aB	26.8 aA	12.7 aB		13,9 b	
Branca	COM	11.3 aA	10.2 aA	13.2 aA	12.1 bA	14.7 aA	35.56	12,3 a	
Ácaro	12/02	SEM	0.8 aB	1.6 aB	3.2 aA	0.6 aB	0.8 aB		1,4 a
		COM	1.6 aA	0.6 aA	0.4 bA	0.4 aA	0.8 aA	72.58	0,7 b
	19/02	SEM	20.8 aA	7.2 bA	15.4 aA	19.6 aA	23.2 aA		17,2 a
		COM	16.4 aA	7.0 bB	11.2 aB	18.0 aA	9.6 aB	45.43	12,4 b
	27/02	SEM	88.8 aA	94.0 aA	50.2 aB	66.0 aAB	52.6 aB		70,3 a
		COM	43.8 bAB	39.0 bB	52.8 aAB	70.2 aA	57.2 aAB	26.60	54,6 b
Oídio	SEM	7.40 aA	6.10 bA	6.13 bA	7.10 bA	7.08 aA		6,7 b	
	COM	6.04 aC	9.2 aAB	8.9 aAB	9.73 aA	6.70 aBC	21.43	8,1 a	

Médias seguidas por iguais letras minúsculas nas colunas e iguais letras maiúsculas nas linhas não diferem entre si no teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Testemunha (T), Ácido salicílico (AS), fertilizante silicatado (dióxido de silício – 68,2% + carbonato de Cálcio – 31,8%) (FS), mistura de biofertilizantes em pulverização (FSCA+SFA) e *Bacillus velezensis* (BV).

Figura 2. Número de moscas-brancas em tomateiros submetidos a diferentes tratamentos inoculados ou não com FMA. Londrina, 2021.

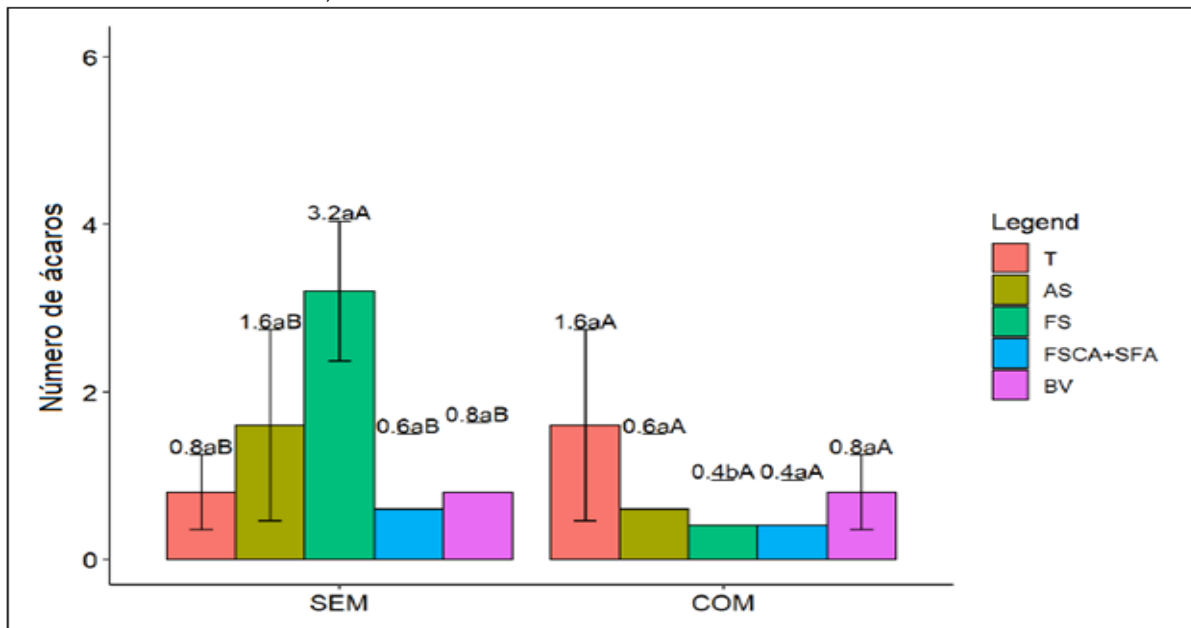


Barras com mesma letra minúscula representam médias que não diferem entre si para o mesmo bioestimulantes (fator 2) tratados ou não com micorrizas (fator 1); e seguida pela mesma letra maiúscula, representam diferenças entre os bioestimulantes (fator 2) dentro do fator micorriza (fator 1) pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Testemunha (T), Ácido salicílico (AS), fertilizante silicatado (dióxido de silício – 68,2% + carbonato de Cálcio – 31,8%) (FS), mistura de biofertilizantes em pulverização (FSCA+SFA) e *Bacillus velezensis* (BV).

Na primeira avaliação do número de ácaros, realizada no dia 12/02 (tab. 1 e fig 3), que representa ainda uma infestação inicial da praga, observou-se maior infestação no tratamento com fertilizantes silicatado. Porém, quando associado a micorriza, houve redução significativa. Na avaliação do dia 19/02, todos os tratamentos associados a FMA's foram estatisticamente menores que aqueles realizados na ausência das micorrizas, e no desdobramento dos tratamentos, plantas que receberam AS foram as que apresentaram os menores números de ácaros.

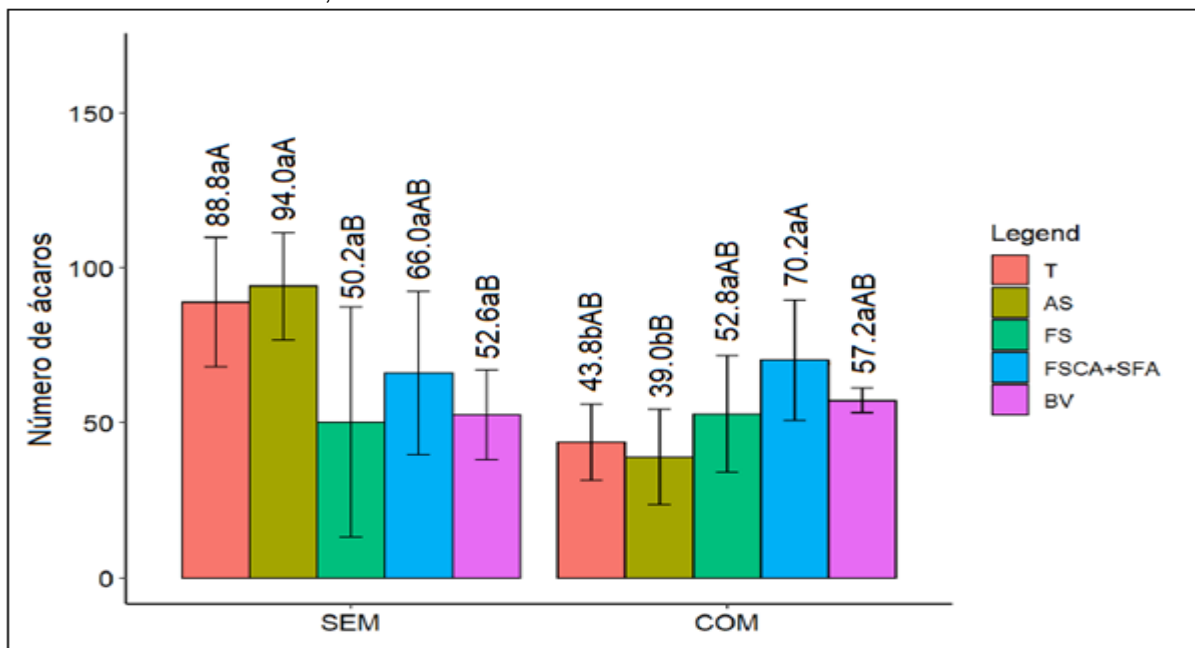
Na última avaliação, dia 27/02 (tab. 1 e fig. 4), a presença de FMA's reduziu significativamente o número de ácaros nos tratamentos isolados e contendo AS, onde a presença do mesmo continuou mantendo reduzida a quantidade da ácaros. A redução do ácaro nos tratamentos com a micorriza foi aproximadamente 33%.

Figura 3. Número de ácaros (12/02) em tomateiros submetidos a diferentes tratamentos inoculados ou não com FMA. Londrina, 2021.



Barras com mesma letra minúscula representam médias que não diferem entre si para o mesmo bioestimulante (fator 2) tratados ou não com micorrizas (fator 1); e seguida pela mesma letra maiúscula, representam diferenças entre os bioestimulantes (fator 2) dentro do fator micorriza (fator 1) pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Testemunha (T), Ácido salicílico (AS), fertilizante silicatado (dióxido de silício – 68,2% + carbonato de Cálcio – 31,8%) (FS), mistura de biofertilizantes em pulverização (FSCA+SFA) e *Bacillus velezensis* (BV).

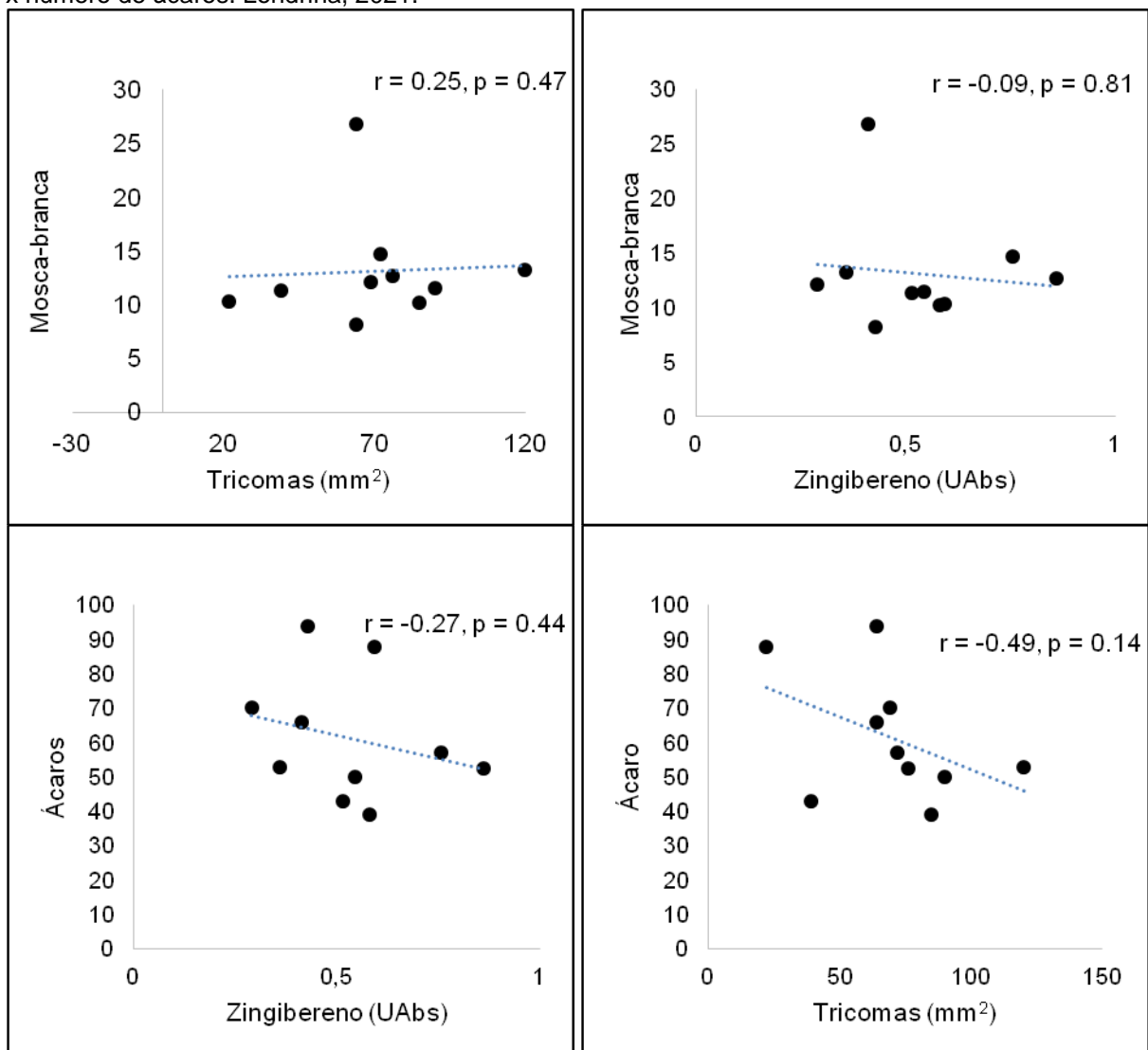
Figura 4. Número de ácaros (27/02) em tomateiros submetidos a diferentes tratamentos inoculados ou não com FMA. Londrina, 2021.



Barras com mesma letra minúscula representam médias que não diferem entre si para o mesmo bioestimulante (fator 2) tratados ou não com micorrizas (fator 1); e seguida pela mesma letra maiúscula, representam diferenças entre os bioestimulantes (fator 2) dentro do fator micorriza (fator 1) pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Testemunha (T), Ácido salicílico (AS), fertilizante silicatado (dióxido de silício – 68,2% + carbonato de Cálcio – 31,8%) (FS), mistura de biofertilizantes em pulverização (FSCA+SFA) e *Bacillus velezensis* (BV).

Como o número de ácaros no tratamento somente com AS é maior que o resultado observado no tratamento em que o AS foi associado a FMA, é possível inferir sinergismo entre FMA e AS, o que acabou reduzindo o número de ácaros em 54% quando comparado ao tratamento sem micorriza ou qualquer outros bioestimulantes.

Figura 5. Correlação de Spearman entre: número de tricomas x número de mosca-branca; teor de zingibereno x número de mosca-branca; teor de zingibereno x número de ácaros; número de tricomas x número de ácaros. Londrina, 2021.



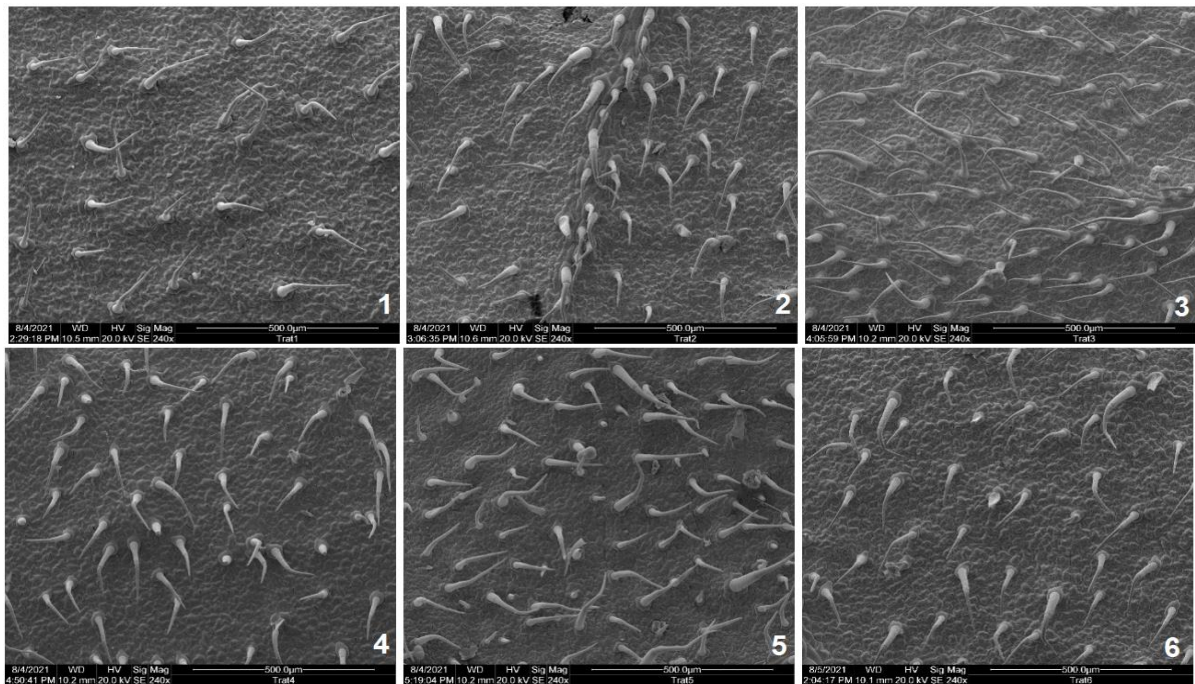
Não houve correlação significativa entre número de tricomas totais e mosca-branca ($r = 0,25$), zingibereno e mosca-branca ($r = -0,09$), zingibereno e ácaro ($r = -0,27$) ou tricomas totais e ácaro ($r = -0,49$) mostrando que, para esses tratamentos, o teor de zingibereno e a quantidade de tricomas não interferiu na repelência dessas pragas. Como houve menor incidência de ácaros, é possível inferir que outros

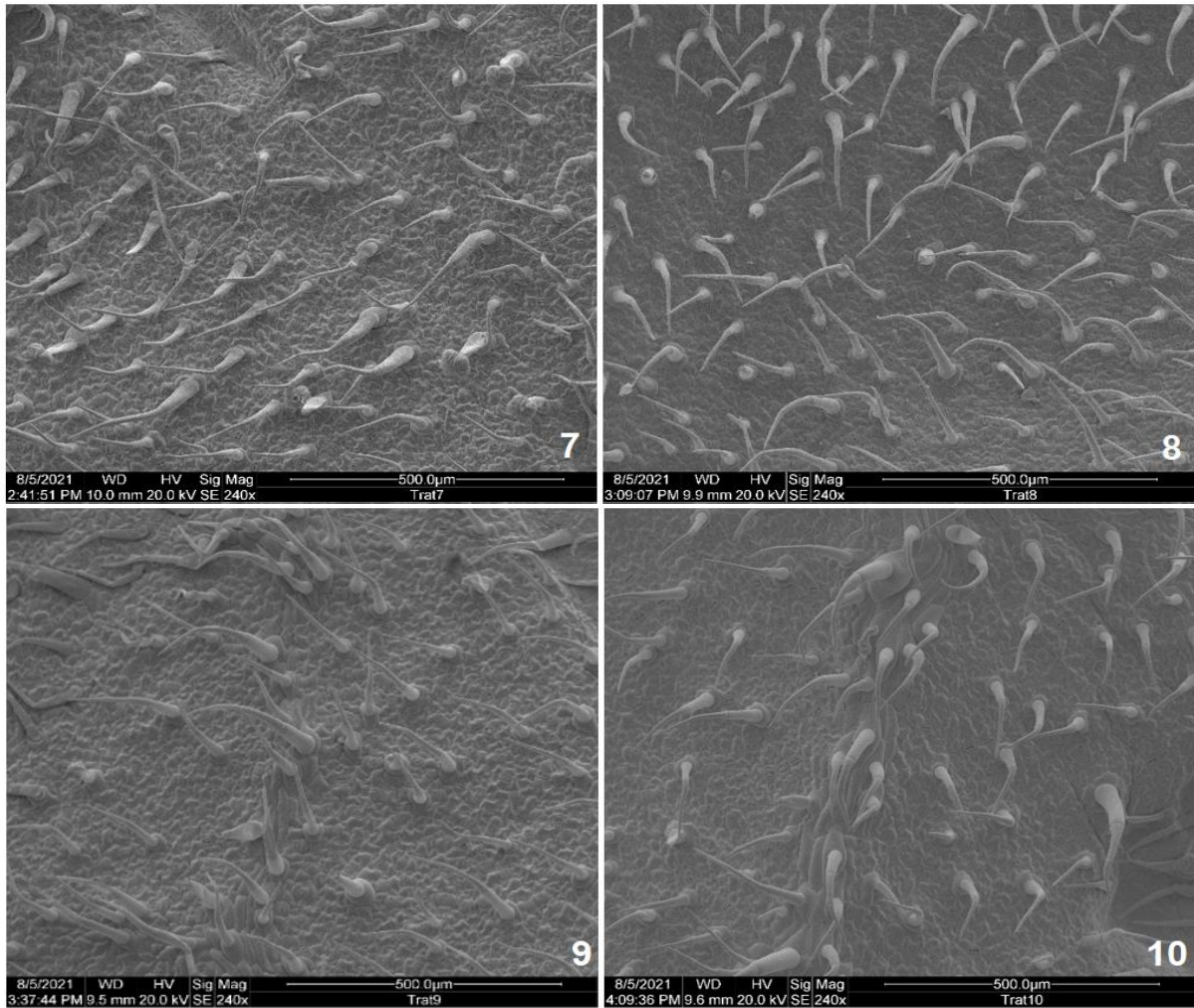
fatores podem ter sido responsáveis por essa redução, e um desses fatores seria o aumento da espessura das folhas.

De acordo com Krishna et al. (1981) e Souza et al. (2000), foram observadas modificações no tecido de plantas hospedeiras de FMA's como aumento da espessura das folhas que podem interferir na relação planta-praga. O aumento da espessura das folhas induzida pela aplicação de bioestimulantes exógenos pode reduzir a preferência de pragas picadoras-sugadoras e (Vilela de Resende et al. 2021) relatou que aumento na, e o que pode ter acontecido no presente trabalho.

É possível também que as diferenças nas datas de avaliação possam ter determinado a perda da resistência. Tanto aleloquímicos como alterações morfológicas podem ser rapidamente estabelecidas ou, eventualmente, diminuídas nas plantas (VILELA DE RESENDE et al., 2021).

Figura 6. Microscopia eletrônica de varredura em folhas de tomateiro submetidas a diferentes tratamentos. Londrina, 2021.

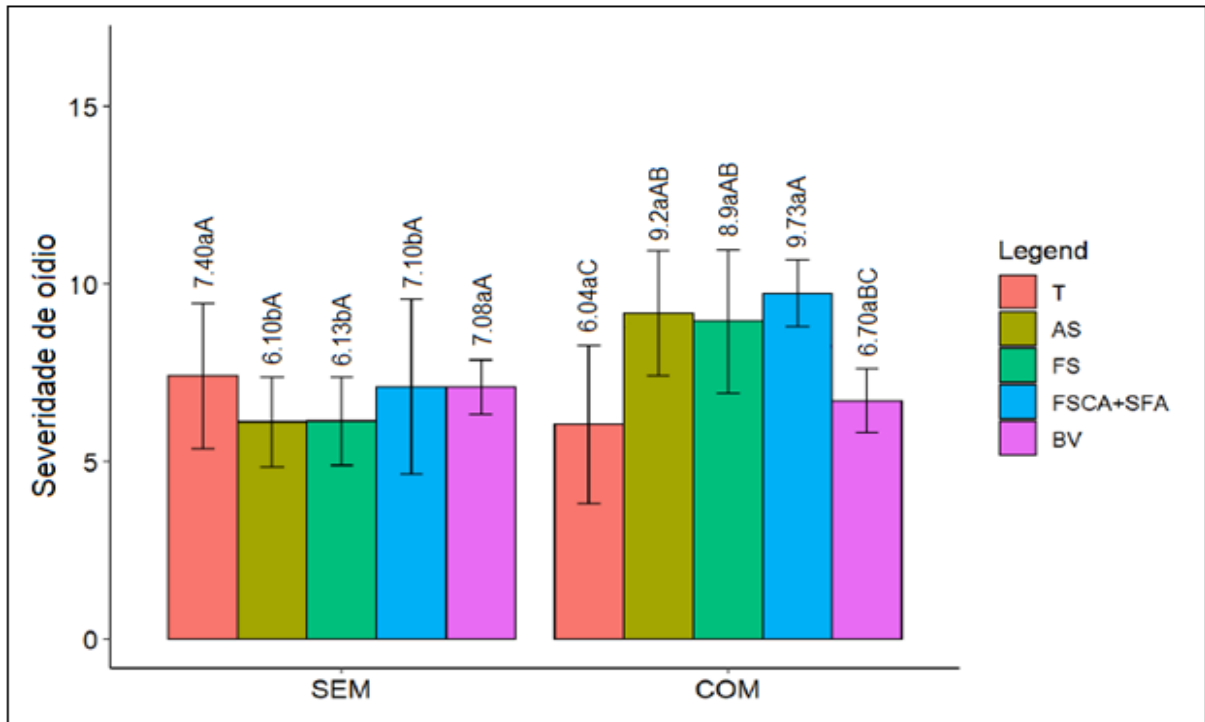




Sem inoculação com FMA: 1 (T); 2 (AS); 3 (FS); 4 (FCSA+SFA); 5 (BV). Inoculados c/ FMA: 6 (T); 7 (AS); 8 (FS); 9 (FCSA+SFA); 10 (BV). Testemunha (T), Ácido salicílico (AS), fertilizante silicatado (dióxido de silício – 68,2% + carbonato de Cálcio – 31,8%) (FS), mistura de biofertilizantes em pulverização (FCSA+SFA) e *Bacillus velezensis* (BV). Fonte: Próprio autor.

Para a incidência de oídio (tab. 1 e fig. 7) os tratamentos sem FMA's não apresentaram diferença entre si, enquanto a presença de FMA reduziu a presença da doença fúngica no tratamento isolado e na associação com bacilos. É possível observar também que associação de FMA com AS, Fertilizante Silicatado e Extrato de Algas permitiu aumento de oídio em relação aos mesmos tratamentos sem FMA.

Figura 7. Severidade de oídio em folhas de tomateiro submetidas a diferentes tratamentos inoculados ou não com FMA. Londrina, 2021.



Barras com mesma letra minúscula representam médias que não diferem entre si para o mesmo bioestimulante (fator 2) tratados ou não com micorrizas (fator 1); e seguida pela mesma letra maiúscula, representam diferenças entre os bioestimulantes (fator 2) dentro do fator micorriza (fator 1) pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Testemunha (T), Ácido salicílico (AS), fertilizante silicatado (dióxido de silício – 68,2% + carbonato de Cálcio – 31,8%) (FS), mistura de biofertilizantes em pulverização (FSCA+SFA) e *Bacillus velezensis* (BV).

Tais resultados já foram previamente observados por Dugassa, Vonalten & Schonbeck (1996) e West (1995), que demonstraram que plantas inoculadas com FMA e que apresentaram oídio, tiveram aumento no desenvolvimento desse patógeno foliar; e plantas com oídio, mas sem a inoculação de FMA, mostraram menor incidência do patógeno, provavelmente devido a maior disponibilidade de recursos nutricionais promovida pela inoculação.

CONCLUSÃO

Os FMA's estimularam aumento no número de tricomas, aumentaram o teor de zingibereno quando associados com bacilos, reduziu a quantidade de mosca-branca em sinergismo com a mistura de bioestimulantes (FSCA + SFA) em mistura. Também promoveu redução na quantidade de ácaros em associação com AS e reduziu a incidência de oídio no tratamento isolado e associado ao tratamento com mistura de biofertilizantes.

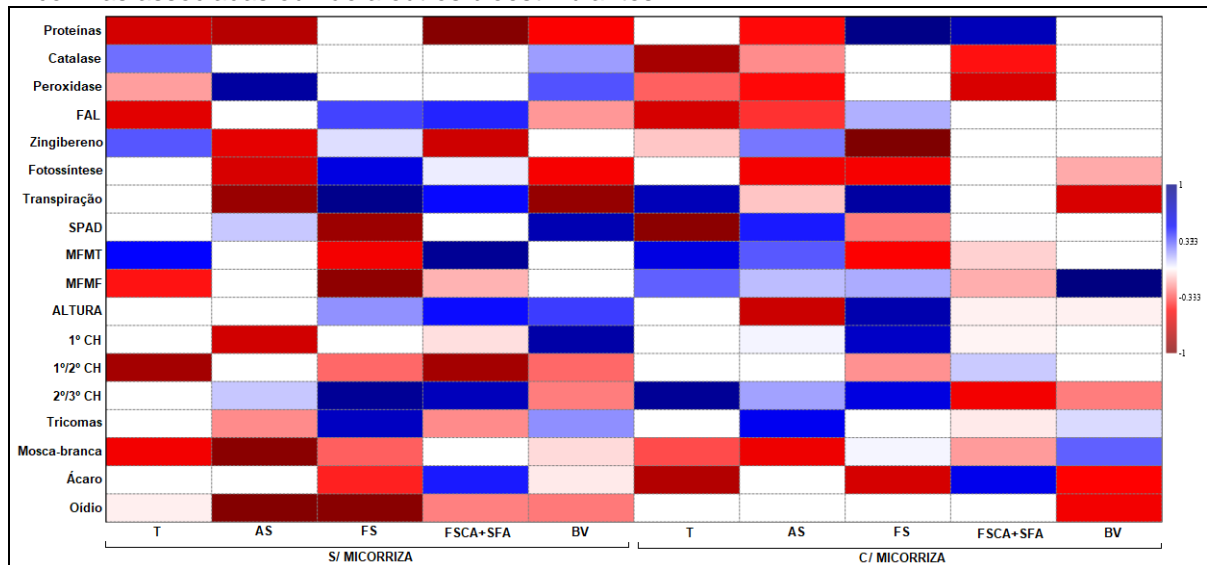
CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos no presente estudo, demonstram que, nas condições em que foram feitos os experimentos, a inoculação com FMAs atuou positivamente de várias formas sobre as plantas: teores de proteínas, altura de plantas e distâncias entre os cachos e número de tricomas. O uso da combinação de outros bioestimulantes com micorrizas pode ser uma alternativa promissora para a produção de tomateiro. Embora o estudo tenha sido conduzido em vasos, o que limita o desenvolvimento do sistema radicular, alguns efeitos já puderam ser observados.

Com os dados apresentados nos três capítulos desta tese, criou-se o mapa de calor entre os tratamentos e variáveis, análise de componentes principais, mapa de calor considerando as correlações entre as variáveis, e análise de agrupamento utilizando o software Past 4.0. Pelo mapa de calor entre variáveis (Fig. 1), de maneira geral, percebe-se que o uso associado de micorriza com o fertilizante silicatado, aplicados no substrato de plantio, esteve relacionada com os teores de proteínas, taxa de transpiração, altura das plantas, inserção do primeiro cacho e distância entre primeiro e segundo cacho. A aplicação deste fertilizante no substrato de plantio sem micorriza também proporcionou valores relativamente elevados para FAL, fotossíntese, transpiração, tricomas e distância entre segundo e terceiro cachos. De forma geral, afetando positivamente o desenvolvimento das plantas. Desta forma, a aplicação desse fertilizante no substrato da muda, como realizado neste estudo, é promissora e pode ser novamente avaliada em futuras combinações. Vale ressaltar que esse fertilizante também fornece o cálcio (CaCO_3).

O uso da mistura de biofertilizantes preconizada (FSCA+SFA) em pulverização também se destacou em relação aos vários parâmetros, principalmente quando utilizados em plantas não micorrizadas. A aplicação de *Bacillus velezensis*, destacou-se pelos valores do índice Falker, quando aplicado sem micorrizas, e pelo peso médio dos frutos em associação com micorrizas.

Figura.1. Mapa de calor mostrando relações entre tratamentos e variáveis em experimento com micorrizas associadas ou não a outros bioestimulantes.



Na análise dos componentes principais, verifica-se que os tratamentos associados a parâmetros fitométricos, como fotossíntese, transpiração, tricomas, e altura de plantas, destacaram-se os tratamentos nos quais utilizou-se micorriza, associada a outros bioestimulantes (Fig 2). Para os parâmetros relacionados a produção, MFMT e MFMF, além do zingibereno, a mistura de micorriza com *B. velezensis* aparentemente, foi o tratamento de maior destaque.

Considerando os valores das enzimas relacionadas à manifestação de resistência, destacaram-se o fertilizante silicatado, ácido salicílico e mistura de bioestimulantes (FSCA+SFA).

No gráfico de calor mostrando as relações entre as variáveis, verifica-se que houve correlação negativa entre teores de proteínas com as enzimas catalase e peroxidase; positiva entre catalase com peroxidase e fenilalanina amônia-liase (Fig. 3). Porém para a fenilalanina, pode-se caracterizar correlações negativas com zingibereno e alguns parâmetros de produção e desenvolvimento. Fotossíntese e transpiração relacionaram-se positivamente entre si, e também com aspectos de produção e desenvolvimento.

Finalmente, através do dendrograma, pode-se caracterizar a formação de relações caracterizando a proximidade dos resultados entre os tratamentos (Fig. 4). Inicialmente, caracteriza-se um grupo constituído exclusivamente pela testemunha (sem micorriza ou quaisquer outros bioestimulantes). Um grupo também associa os tratamentos sem micorriza, porém com outros bioestimulantes constituídos por

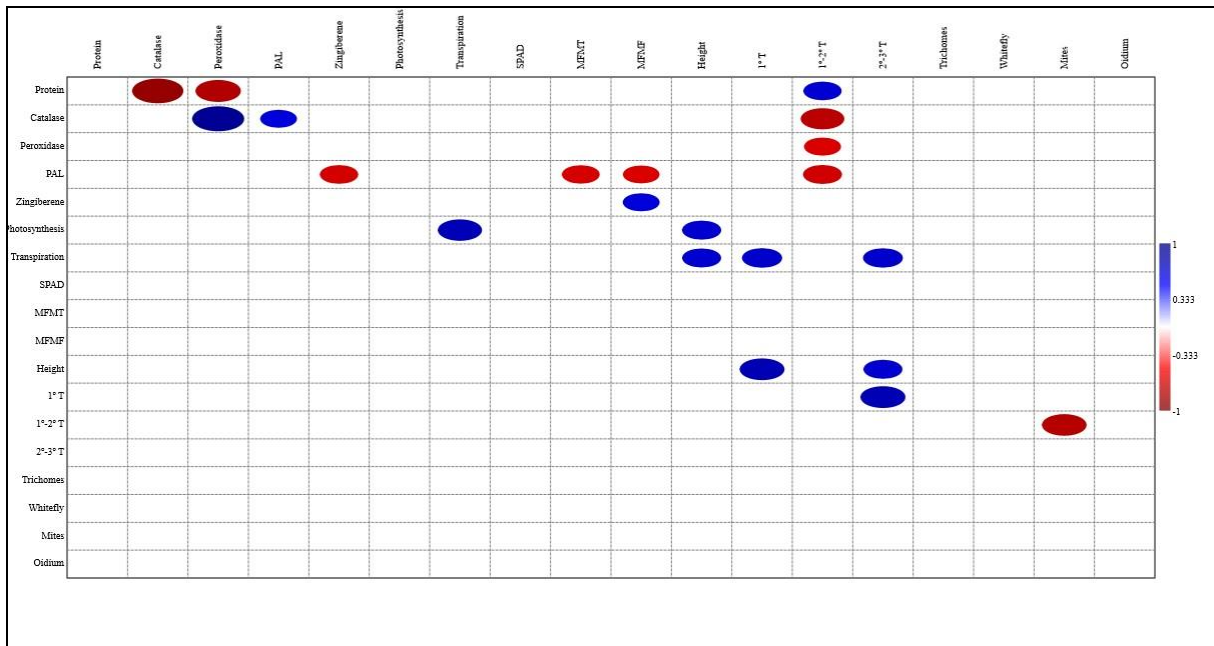
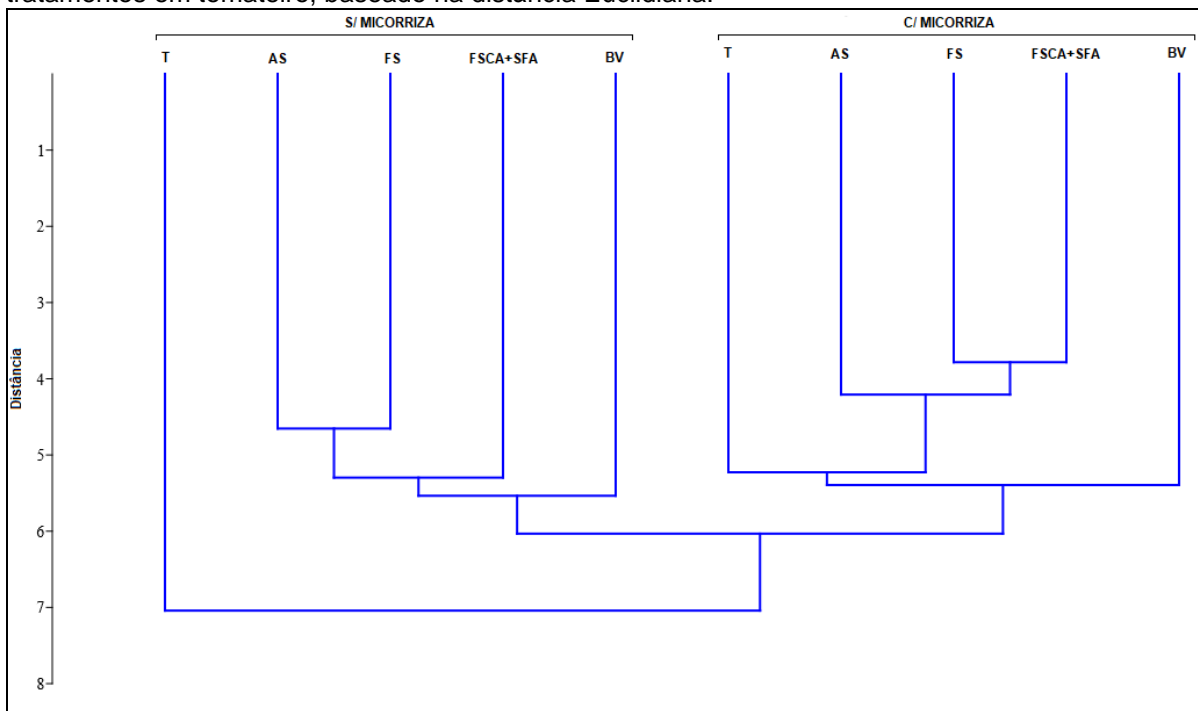


Figura. 4. Dendrograma obtido pelo método UPGMA, a partir das medidas de dissimilaridade entre tratamentos em tomateiro, baseado na distância Euclidiana.



Sendo assim, caracterizou-se a ação diferenciadas entre os tratamentos sobre as variáveis estudadas. imagina-se que novos estudos em condições de lavoura, em campo e estufa, possam ser conduzidos para avaliar os biofertilizantes. Sugere-se, as misturas do silício e eventualmente a quitosana (considerando recentes dados da literatura que mostram o efeito benéfico sobre micorrizas), no substrato de plantio ou solo. Outro biofertilizante que se destacou em alguns

parâmetros foi o *B. velezensis*. Assim, sugere-se que, em próximos estudos, estas possibilidades possam ser avaliadas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABBOTT, L. K.; ROBSON, A.D.; SCHELTEMA, M. A. Managing soils to enhance mycorrhizal benefits in mediterranean agriculture. **Critical Reviews in Biotechnol**, v. 15, n. 3-4, p. 213–228, 1995.
- ABRAMOFF, M. D.; MAGELHAES, P. J.; RAM, S. J. Image processing with ImageJ. **Biophotonics International**, v. 11, p. 36–42. 2004
- ACHUO, E. A.; AUDENAERT, K; MEZIANE, H.; HOFTE, M. The salicylic acid-dependent defence pathway is effective against different pathogens in tomato and tobacco. **Plant Pathology**, v. 53, p. 65-72, 2004.
- AGRAWAL, A. A.; KARBAN, R. Em: The Ecology and Evolution of Inducible Defenses; TOLLRIAN, R.; HARVELL, C. D., eds.; **Princeton University Press**: Princeton, cap. 3. 1999.
- ALEXANDRE, F. S., DELLA FLORA, L. V., HENRIQUE, I. G., DA SILVA, D. C., MERCEDES, A. P., SILVA, A. C.; CELY, M. V. T. Arbuscular Mycorrhizal Fungi (*Rhizophagus clarus*) and Rhizobacteria (*Bacillus subtilis*) Can Improve the Clonal Propagation and Development of Teak for Commercial Plantings. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, p. 628-769, 2021
- ALCEDO Y, REYES I. Microorganismos promotores de crecimiento en el biocontrol de *Alternaria alternata* en tomate (*Solanum lycopersicum* L.). **Bioagro**, v. 30, n. 1, p. 59-66, 2018.
- ALMAGRO, L.; GÓMEZ-ROS, L. V.; BELCHI-NAVARRO, S.; BRU, R.; ROSBARCELO, A.; PEDREÑO, M. A. Class III peroxidases in plant defence reactions. **Journal of Experimental Botany**, v. 60, n. 2, p. 377-390, 2009.
- ALLEM, L. N. Atividade alelopática de extratos e triturados de folhas de *Caryocar brasiliense* Camb. (*Caryocaraceae*) sobre o crescimento inicial de espécies alvo e identificação de frações ativas através de fracionamento em coluna cromatográfica. 2010 84f. Dissertação (Mestrado em Botânica), Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2010.
- ANAND, A., RYU, C. M., UPPALAPATI, S. R., ALLEN, S., N., KANG, L., TANG, Y., AND MYSORE, K. S. Salicylic acid and systemic acquired resistance play a role in attenuating crown gall disease caused by *Agrobacterium tumefaciens*. **Plant Physiology**, v. 146, p. 703-715, 2008.
- ANTONIOLLI, Z. I.; KAMINSKI, J. Micorizas: revisão bibliográfica. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.21, n.3, p.441-455, 1991.
- ARAGÃO, C. A.; DANTAS, B. F.; BENITES, F. R. G. Tricomas foliares em tomateiro com teores contrastantes do aleloquímico 2-tridecanona. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, n. 4, p. 813-816, out./dez. 2000.

ARFAOUI, A.; EL HADRAMI, A.; MABROUK, Y.; SIFI, B.; BOUDABOUS, A.; EL HADRAMI, I.; DAAYF, F. & CHÉRIF, M. Treatment of chickpea with *Rhizobium* isolates enhances the expression of phenylpropanoid defense-related genes in response to infection by *Fusarium oxysporum* f. sp. *ciceris*. **Plant Physiol. Biochemistry**, v. 45, p. 470-479, 2007.

AZEVEDO, L. A. S. **Proteção integrada de plantas com fungicidas**. Campinas: Emopi Gráfica Editora, 230p., 2001.

AZEVEDO, V. et al. Quitina e quitosana: aplicações como biomateriais. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v.2, n.3, p.27-34, 2007.

AZIZ, A.; KAPOOR, D. Salicylic acid: It's physiological role and interactions. **Research Journal of Pharmacy and Technology**, v.11, p. 3171–3177, 2018.

BARBOSA, L. C. A. et al. Síntese de novas fitotoxinas derivadas do 8-oxabicyclo[3.2.1]oct-6-en-3-ona. **Química Nova**, São Paulo, v. 28, n. 3, p. 444-450, 2005.

BARAZETTI, A. R., SIMIONATO, A. S., NAVARRO, M. O. P., DEALIS, M. L., MATOS, J. M. S., MODOLON, F.; ANDRADE, G. Evaluation of Bioproducts and Mycorrhizal Inoculation in Asian Soybean Rust Control, Nutrient Leaf Contents and Yield Under Field Conditions. In *Microbial Probiotics for Agricultural Systems*. **Springer**, p. 193-204, 2019

BARAZETTI, A. R., SIMIONATO, A. S., NAVARRO, M. O. P., DOS SANTOS, I. M. O., MODOLON, F., DE LIMA ANDREATA, M. F.; ANDRADE, G. Formulations of arbuscular mycorrhizal fungi inoculum applied to soybean and corn plants under controlled and field conditions. **Applied Soil Ecology**, v. 142, p. 25-33, 2019

BENEDUZI, A., AMBROSINI, A., AND PASSAGLIA, L. M. P. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): their potential as antagonists and biocontrol agents. **Genet. Mol. Biol.**, v.35, p.1044–1051, 2012.

BHASKARA REDDY, M. V.; ARUL, J.; ANGERS, P.; COUTURE, L. Chitosan treatment of wheat seeds induces resistance to *Fusarium graminearum* and improves seed quality. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.47, p.1208-1216, 1999.

BLOEMBERG, G. V., AND LUGTENBERG, B. J. J. Molecular basis of plant growth promotion and biocontrol by rhizobacteria. **Curr. Opin. Plant Biol.** v.4, p.343–350, 2001.

BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, v. 72, p. 248-254, 1976.

BRESSAN, W.; SIQUEIRA, J.O.; VASCONCELLOS, C.A.; PURCINO, A.C.P. Fungos micorrízicos e fósforo, no crescimento, nos teores de nutrientes e na produção do sorgo e soja consorciados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, p.315-323, 2001.

BRUGNEROTTO, M. R.; VENTURA, M. U. **Ácido salicílico em sementes de tomateiro afeta enzimas de resistência, zingibereno e ocorrência de mosca-branca**. 45p. 2018.

BULGARI, R.; COCETTA, G.; TRIVELLINI, A.; VERNIERI, P.; FERRANTE, A. Biostimulants and crop responses: a review. **Biol Agric Hortic**, v.31, p. 1–17, 2015.

CAMARGO, J. M. M.; MORAES, J. C.; OLIVEIRA, E. B.de; PENTEADO, S. do R. C.; CARVALHO, R. C. Z. de. Efeito da aplicação do silício em plantas de *Pinus taeda* L., sobre a biologia e morfologia de *Cinara atlantica* (Wilson) (Hemiptera: Aphididae). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.32, n. 6, p. 1767-1774, nov./ dez. 2008.

CAMARGO, R. S. et al. Morfologia interna. In: FUJIHARA, R. T. et al. **Insetos de importância econômica: guia ilustrado para identificação de famílias**. Botucatu: Fepaf, p. 43-61, 2011.

CAMPOS, A. D.; SILVEIRA, E. M. L. Metodologia para a determinação da peroxidase e da polifenol-oxidase em plantas. Pelotas: **Embrapa Clima Temperado**, 3p., 2003. (Comunicado Técnico,87).

CARNEIRO, J. S. et al. Uma proposta de manejo. **Granja**, v. 55, p. 124-125, 1999.

CARVALHO, W., FONSECA, M.E.N., SILVA, H.R., BOITEUX, L.S., GIORDANO, L.B. Estimativa indireta de teores de licopeno em frutos de genótipos de tomateiro via análise colorimétrica. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.23, n.3, p.819-825, set 2005.

CARTER, C. D.; SACALIS, J. N.; GIANFAGNA, T. J. Resistance to Colorado Potato Beetle in relation to zingiberene content of *Lycopersicum species*. **Report of Tomato Genetics Cooperative**, v. 38, p. 11-12, 1988.

CASTRO, F. A. **Relações do valor do medidor portátil de clorofila (SPAD-502) com o processo fotossintético e com o teor de nitrogênio orgânico em dois genótipos de *Carica papaya* L.** Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual Norte do Fluminense. 70p. 2005.

CASTRO, F. A., CAMPOSTRINI, E., TORRES-NETO, A., GOMES, M. M. A., FERRAZ, T. M., GLENN, D. M. Portable chlorophyll meter (PCM-502) values are related to total chlorophyll concentration and photosynthetic capacity in papaya (*Carica papaya* L.). **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, 12p., 2014.

CASTRO, P. R. C.; VIEIRA, E. L. **Aplicações de reguladores vegetais na agricultura tropical**. Guaíba, Agropecuária, 132p, 2001.

- CHEN, C. C.; HO, C. T. Gas chromatographic analysis of volatile components of ginger oil (*Zingiber officinale Roscoe*) extracted with liquid carbon dioxide. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Davis, v. 36, p. 322-328, 1988.
- CHEN, G., KLINKHAMER, P. G. L., ESCOBAR-BRAVO, R., AND LEISS, K. A. Type VI glandular trichome density and their derived volatiles are differently induced by jasmonic acid in developing and fully developed tomato leaves: Implications for thrips resistance. **Plant Science**, v.276, p.87–98, 2018.
- CIPRIANO, A. K.; GONDIM, D. M.; VASCONCELOS, I. M.; MARTINS, J. A.; MOURA, A. A.; MORENO, F. B.; MONTEIRO-MOREIRA, A. C. O.; MELO, J. G. O.; CARDOSO, J. E.; PAIVA, A. L. S.; OLIVEIRA, J. T. Proteomic analysis of responsive stem proteins of resistant and susceptible cashew plants after *Lasiodiplodia theobromae* infection. **Journal of proteomics**, v. 113, p. 90-109, 2015.
- COPETTA, A.; LINGUA, G.; BERTA, G. Effects of three AM fungi on growth, distribution of glandular hairs, and essential oil production in *Ocimum basilicum* L. var. Genovese. **Mycorrhiza**, v. 16, n. 7, p. 485–494, 2006.
- COSTA, R. R.; MORAES, J. C.; ANTUNES, C. S. Resistência induzida em trigo ao pulgão *Schizaphis graminum* (Hemiptera: Aphididae) por silício e acibenzolar-S-methyl. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n.2, p. 393-397, mar./abr. 2007.
- COSTA, R. R.; MORAES, J. C.; COSTA, R. R. Interação silício-imidacloprid no comportamento biológico e alimentar de *Schizaphis graminum* (Rond.) (Hemiptera: Aphididae) em plantas de trigo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.33, n.2, p.455-460, mar./abr. 2009.
- CORREA, R. S. B.; MORAES, J. C.; AUAD, A. M.; CARVALHO, G. A. Silicon and acibenzolar-S-methyl as resistance inducers in cucumber, against the whitefly *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae) biotype B. **Neotropical Entomology**, Londrina, v.34, n.3, p.429-433, July/Sept. 2005.
- CRAIGE, J. S. Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture. **Journal of Applied Phycology**, v. 23, p. 371-393, 2011.
- CUTTER, E.G. **Anatomia vegetal: células e tecidos**. 2ed. São Paulo: Roca, p. 303, 1986.
- DE GARA, L.; PINTO, M. C.; TOMMASI, F. The antioxidante systems vis-a-vis reactive oxygen species during plantpathogen interaction. **Plant Physiol. Biochem.**, v. 41, p. 863-870, 2003.
- DELANEY, T. P.; UKNES, S.; VERNOOJJ, B.; FRIEDRICH, L.; WEYMANN, K.; NEGROTTO, D.; GAFFINE, T.; GUT-RELLA, M.; KESSMANN, H.; WARD, E.; RYALS, J. A central role of salicylic acid in plant disease resistance. **Science**, Washington DC, v. 266, p. 1247-1250, 1994.
- DIAS DE ALMEIDA, G. et al. Estresse oxidativo em células vegetais mediante aleloquímicos. **Revista Facultad Nacional De Agronomía**, Medellín, v. 61, n. 1, p. 4237-4247, Jun 2008.

- DIAS, P. A. S.; SAMPAIO, M. V.; RODRIGUES, M. P.; KORNDÖRFER, A. P.; OLIVEIRA, R. S.; FERREIRA, S. E.; KORNDÖRFER, G. H. Induction of resistance by silicon in wheat plants to alate and apterous morphs of *Sitobion avenae* (Hemiptera: Aphididae). **Environmental Entomology**, Oxford, v. 43, n. 4, p. 949-956, 2014.
- DIETRICH, R.; PLOSS, K.; HEIL, M. Growth responses and fitness cost after induction of pathogen resistance depend on environmental condition. **Plant Cell and Environment**, v.28, p.211-222, 2005.
- DIXON, R. A.; PAIVA, N. L. Stress-induced phenylpropanoid metabolism. **Plant Cell**, Baltimore, v. 7, p. 1085-1097, 1995.
- DOURADO NETO, D., DARIO, G. J. A.; VIEIRA JUNIOR, P. A.; MANFRON, P. A.; MARTIN, T. N.; BENNECARRÈRE, R. A. G.; CRESPO, P. E. N. Aplicação e influência do fitorregulador no crescimento das plantas de milho. **Rev. Facul. Zootec. Vet. Agron.** v.11, p.93-102, 2004.
- DUGASSA, G.D.; VON ALTEN, H.; SCHONBECK, F. Effects of arbuscular mycorrhiza (AM) on health of *Linum usitatissimum* L. infected by fungal pathogens. **Plant and Soil**, v.185, p.173-182, 1996.
- EICHELKRAUT, K.; CARDONA, C. Biología, cría massal y aspectos ecológicos de la mosca blanca *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Homoptera: Aleyrodidae), como plaga del frijol común. **Turrialba**, San Jose, v. 39, n. 1, p. 51-55, 1989.
- EL AMERANY, F., RHAZI, M., WAHBI, S., TAOURIRTE, M., & MEDDICH, A. The effect of chitosan, arbuscular mycorrhizal fungi, and compost applied individually or in combination on growth, nutrient uptake, and stem anatomy of tomato. **Scientia Horticulturae**, v. 261, p. 109015, 2020.
- ELSEN, A.; GERVASIO, D.; SWENNEN, R. & DE WAELE, D. AMF-induced biocontrol against plant parasitic nematodes in *Musa* sp.: a systemic effect. **Mycorrhiza**, v. 18, p. 251-256, 2008.
- FARMER, E. E.; RYAN, C. A. Interplant communication: airborne methyl jasmonate induces synthesis of proteinase inhibitors in plant leaves. **Proceedings National Academy of Sciences**, Washington, v. 87, p. 7713-7716, 1990.
- FARMER, E. E.; RYAN, C. A. Octadecanoid precursors of jasmonic acid activate the synthesis of wounding inducible proteinase inhibitors. **The Plant Cell**, Dordrecht, v. 4, p. 129-134, 1992.
- FERREIRA, A. G.; ÁQUILA, M. E. A. Alelopatia: uma área emergente da ecofisiologia. **Revista Brasileira Fisiologia Vegetal**. 12 (Edição especial), p. 175-204. 2000.
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Faostat. 2020. Disponível em: <www.faostat.fao.org>. Acesso em: 21 de dezembro de 2021.

FLECHTMANN, C. H. W. **Ácaros de importância agrícola**. São Paulo: Nobel, 189p. 1989.

FLECHTMANN, C. H. W. **Elementos de acarologia**. São Paulo: Nobel, 1975.

FONTES, R.R. Solo e nutrição da planta. In: SILVA, J.B.C.; GIORDANO, L.B. Tomate para processamento industrial. Brasília: Embrapa. **Comunicação para Transferência de Tecnologia**, p. 22-35, 2000.

FRANCESCHI, V. R.; KREKLING, T.; CHRISTIANSEN, E. Application of methyl jasmonate on *Picea abies* (Pinaceae) stems induces defense-related responses in phloem and xylem. **American Journal of Botany**, v. 89, n. 4, p. 578-586, 2002.

FREITAS, J. A.; MALUF, W. R.; CARDOSO, M. G.; BENITES, F. R. G. Métodos para a quantificação do zingibereno em tomateiro, visando à seleção indireta de plantas resistentes a artrópodes-praga. **Acta scientiarum**. Maringá, v. 22, n. 4, p. 943-949, 2000.

FREITAS, J. A.; MALUF, W. R.; CARDOSO, M. G.; GOMES, L. A. A.; BEARZOTTI, E. Inheritance of foliar zingiberene contents and their relationship to trichome densities and whitefly resistance in tomatoes. **Euphytica**, v.127, p.275-287, 2002.

GALLEGO-GIRALDO, L.; ESCAMILLATREVINO, L.; JACKSON, L. A.; DIXON, R. A. Salicylic acid mediates the reduced growth of lignin downregulated plants. **Proceedings of the National Academy of Science**, v.108, n.51, p.20814-20819, 2011.

GALLO, D. et al. **Entomologia agrícola**. Piracicaba: FEALQ, 920p., 2002.

GARCIA-GARRIDO, J. M.; OCAMPO, J. A. Regulation of the plant defence response in arbuscular mycorrhizal symbiosis. **Journal Exper. Bot.**, v. 53, p. 1377-1386, 2002.

GIORDANO, L. B.; ARAGÃO, F. A. S.; BOITEUX, L. S. Melhoramento genético do tomateiro. **Informe Agropecuário: tomate para mesa**, Belo Horizonte, v. 24, n. 219, p. 43-57, 2003.

GLAS, J. R.; SCHIMMEL, B. C. J; ALBA, J. M.; ESCOBAR-BRAVO, R.; SCHUURINK, R. C.; KANT, M. R. Plant glandular trichomes as targets for breeding or engineering of resistance to herbivores. **International Journal of Molecular Sciences**, Basel, v.13, p. 17076-17103, 2012.

GLAZEBROOK, J. Contrasting mechanisms of defense against biotrophic and necrotrophic pathogens. **Annual Review of Phytopathology**, v. 43, p. 205-227, 2005.

GODARD, J. F.; ZIADI, S.; MONOT, C.; LE CORRE, D.; SILUE, D. Benzothiadiazole (BTH) induces resistance in cauliflower (*Brassica oleracea* var *botrytis*) to downy mildew of crucifers caused by *Peronospora parasitica*. **Crop Protection** v.18, p.397-405, 1999.

GOLDFARB, M.; PIMENTEL, L. W.; PIMENTEL, N. W. Alelopatia: relações nos agroecossistemas. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, João Pessoa, v. 3, n. 1, p. 23-28, 2009.

GOMES, F. B.; MORAES, J. C.; NERI, D. K. P. Adubação com silício como fator de resistência a insetos-praga e promotor de produtividade em cultura de batata inglesa em sistema orgânico. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.33, n.1, p.18-23, jan./fev. 2009.

GOMES, F. B.; MORAES, J. C.; SANTOS, C. D.; GOUSSAIN, M. M. Resistance induction in wheat plants by silicon and aphids. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 62, n. 6, p. 547-551, 2005.

GONÇALVES, L. D. MALUF, W.R.; CARDOSO, M. G.; RESENDE, J. T. V. R.; CASTRO, E. M.; SANTOS, N. M.; NASCIMENTO, I. R.; FARIA, M. V. Relação entre zingibereno, tricomas foliares e repelência de tomateiros a *Tetranychus evansi*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 2, p. 267-273, fev. 2006.

GOUSSAIN, M. M.; MORAES, J. C.; CARVALHO, J. G.; NOGUEIRA, N. L.; ROSSI, M. L. Effect of silicon application on corn plants upon the biological development of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 31, n. 2, p. 305-310, 2002.

GOUSSAIN, M. M.; PRADO, E.; MORAES, J. C. Effect of silicon applied to wheat plants on the biology and probing behavior of the greenbug *Schizaphis graminum* (Rond.) (Hemiptera: Aphididae). **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 34, n. 5, p. 807-813, 2005.

GRANT, M.; LAMB, C. Systemic immunity. **Current Opinion Plant Biology**, v. 9, p. 414-420, 2006.

GRAVENA, S.; BENVENGA, S. R. **Manual prático para manejo de pragas do tomate**. Jaboticabal: Gravena. 143 p. 2003.

HAJI, F. N. P.; BLEICHER, E. Avanços no manejo da mosca branca *Bemisia tabaci* Biótipo B. Petrolina, PE: **Embrapa** Semi-Árido, 2004.

HEGAZI, A. M.; EL-SHRAYI, A. M. Impact of salicylic acid and paclobutrazol exogenous application on the growth, yield and nodule formation of common bean. **Australian Journal of Basic and Applied Science**, v. 1, n.4, p. 834-840, 2007.

HELLE, W.; SABELIS, M. W. Spider mites: their biology, natural enemies and control. Amsterdam: **Elsevier**, v.1A, 405p, 1985.

HIRAGA, S.; SASAKI, K.; ITO, H.; OHASHI, Y.; MATSUI, H. A large family of class III plant peroxidases. **Plant & Cell Physiology**. Tokyo, v. 42, n. 5, p. 462-468, 2001.

HÜLSKAMP, M. Plant trichomes: A model for cell differentiation. **Nature Reviews, Molecular Cell Biology**, London, v. 5, p. 471-480, 2004.

IBGE, **Sidra**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso: 04 de fevereiro de 2020.

IPNI, International Plant Nutrition Institute (Org). Silicon. **Nutrifacts**, Peachtree Corners, v. 14, n. 1, p.1-2, jan. 2015.

IRITI, M.; FAORO, F. Benzothiadiazole (BTH) induces cell-death independent resistance in *Phaseolus vulgaris* against *Uromyces appendiculatus*. **Journal of Phytopathology** v.151, p.171-180, 2003.

JAIZME-VEJA, M.C.; AZCON, R. Responses of some tropical and subtropical cultures to endomycorrhizal fungi. **Mycorrhiza**, v.5, p.213-217, 1995.

JONES, D. H. Phenylalanine ammonia-lyase: regulation of its induction, and its role in plant development. **Phytochemistry**, Oxford, v. 23, p. 1349-1359, 1984

JONES, L. H. P.; HANDRECK, K. A. Silica in soils, plants and animals. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 19, p. 107-149, 1967.

JUVIK, J.; BABKA, B.; TIMMERMANN, E. Influence of trichome exudates from species of *Lycopersicon* on oviposition behavior of *Heliothis zea* Boddie. **Journal of Chemical Ecology**, New York, v. 14, n. 4, p. 1261-1287, 1988.

KHAN, W., RAYIRATH, U.P.; SUBRAMANIAN, S.; JITHESH, M.N.; RAYORATH, P.; HODGES, M.; CRITCHLEY, A. T.; CRAIGIE, J. S.; NORRIE, J.; PRITHIVIRAJ, B. Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 28, p. 386-399, 2009.

KARBAN, R.; BALDWIN, I.T.; **Induced Responses to Herbivory**. University of Chicago: Chicago, 1997.

KARUPPANAPANDIAN, T.; MOON, J. C.; KIM, C.; MANOHARAN, K.; KIM, W. Reactive oxygen species in plants: their generation, signal transduction, and scavenging mechanisms. **Australian Journal of Crop Science**, v. 5, n. 6, p. 709, 2011.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia Vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008.
KELTING, M. et al. Humate-based biostimulants do not consistently increase growth of container-grown Turkish, Hazelnut. **Journal Environment Horticulture**, Washington, DC, v.15, n.4, p.197-199, 1997.

KESHAVARZ, Y., ALIZADEH, O., SHARFZADE, S., ZARE, M.; BAZRAFESHAN, F. Investigating the Importance of Salicylic Acid and Mycorrhiza in Reducing the Unfavorable Effects of Stresses on Maize. **Journal of Materials and Environmental Sciences**, v.5, p.1401-1412, 2019.

KORNDÖRFER, A. P.; GRISOTO, E.; VENDRAMIM, J. D. Induction of insect plant resistance to the spittlebug *Mahanarva fimbriolata* Stal (Hemiptera: Cercopidae) in sugarcane by silicon application. **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 40, n. 3, p. 387-392, 2011.

- KRISHNA, K. R.; SURESH, H. M.; SYAMSUNDER, J.J. Changes in the leaves of finger Millet due to VA mycorrhizal infection. **New Phytologist**, Oxford, v.87, p. 717-722, 1981.
- KUHN, O. J. **Indução de resistência em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*) por acibenzolar-S-metil e *Bacillus cereus*: aspectos fisiológicos, bioquímicos e parâmetros de crescimento e produção**. 2007. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2007.
- KULIK, M. M. The potential for using cyanobacteria (blue-green algae) and algae in the biological control of plant pathogenic bacteria and fungi. **European Journal of Plant Pathology**, v. 101, p. 585-599, 1995.
- KUMAR, D.; KLESSIG D. F. High-affinity salicylic acid-binding protein 2 is required for plant innate immunity and has salicylic acid-stimulated lipase activity. **Proceeding of National Academic Science**, USA v. 100, p. 16101-6106, 2003.
- LAMBAIS, M. R.; RÍOS-RUIZ, W. F. & ANDRADE, R. M. Antioxidant responses in bean (*Phaseolus vulgaris*) roots colonized by arbuscular mycorrhizal fungi. **New Phytol.**, v. 160, p. 421-428, 2003.
- LARA, F. M. **Princípios de resistência de plantas aos insetos**. 2. ed. São Paulo: Ícone, 336p., 1991.
- LARQUE-SAAVEDRA, A. Stomatal closure in response to acetylsalicylic acid treatment. **Z Pflansenphysiol**, v. 93, p. 371-375, 1979.
- LEE, H. I.; LÉON, J.; RASKIN, I. Biosyntheses and metabolism of salicylic acid. **Proceedings of National Academy of Sciences**, United State or America, Washington DC, v. 92, p. 4072-4079, 1995.
- LEE, S.; CHOI, H.; SUH, S.; DOO, I. S.; OH, K. Y.; CHOI, E. J.; TAYLOR, T. S.; LOW, P. S.; LEE, Y. Oligogalacturonic acid and chitosan reduce stomatal aperture by inducing the evolution of reactive oxygen species from guard cells of tomato and *Commelina communis*. **Plant Physiology**, v.121, p.147-152, 1999.
- LEITE, G. L. D. Resistência de tomates a pragas, **Unimontes Científica**. Montes Claros, v.6, n.2 - jul./dez. 2004.
- LEON, J.; LAWTON, M. A.; RASKIN, I. Hydrogen peroxide stimulates salicylic acid biosynthesis in tobacco. **Plant Physiology**, Rockville, v. 108, p. 1673-1678, 1995.
- LIN, S.; TRUMBLE, J.; KUMAMOTO, J. Activity of volatile compounds in glandular trichomes of *Lycopersicon* species against two insect herbivores. **Journal of Chemical Ecology**, New York, v. 13, n. 4, p. 837-849, 1987.
- LIN, W.; HU, X.; ZHANG, W.; ROGERS, W. J.; CAI, W. Hydrogen peroxide mediates defence responses induced by chitosans of different molecular weights in rice. **Journal of Plant Physiology**, v.162, p.937-944, 2005.

LIZZI, Y.; COULOMB, C.; POLIAN, C.; COULOMB, P. J.; COULOMB, P. O. L'algue face au Mildiou quel avenir? **Phytoma**, v. 508, p. 29-30, 1998.

LOPES, C. A.; ÁVILA, A. C. **Doenças do tomateiro**. Embrapa Hortaliças, Brasília, DF. 152p. 2005.

LOURENÇO, M. V. Biotecnologia de plantas medicinais: Produção de biomoléculas. **Biológico**, São Paulo, v. 65, n. 1/2, p. 63-65, 2003.

LUCKWILL, L. C. The genus *Lycopersicon*: an historical, biological, and taxonomic survey of the wild and cultivated tomatoes. **Aberdeen**: University, p. 44, 1943.

LUSSO, M. F. G.; PASCHOLATI, S. F. Activity and isoenzymatic pattern of soluble peroxidases in maize tissues after mechanical injury or fungal inoculation. **Summa Phytopathologica**. v.25, p.244-249. 1999.

MALUF, W. R.; CAMPOS, G.A.; CARDOSO, M. G. Relationships between trichome types and spider mite (*Tetranychus evansi*) repellence in tomatoes with respect to foliar zingiberene contents. **Euphytica**, Wageningen, v. 121, n. 1, p. 73-80, Aug. 2001.

MANDAL, S. et al. Arbuscular mycorrhiza increase artemisinin accumulation in *Artemisia annua* by higher expression of key biosynthesis genes via enhanced jasmonic acid levels. **Mycorrhiza**, v. 25, n. 5, p. 345–357, 2015.

MARSCHALEK, R. **Resistência genética a insetos em espécies florestais: Revisão sobre o gênero Eucalyptus**. Blumenau, Ed. FURB, p. 192, 2000.

MARTIN, J. H.; MOUND, L. A. An annotated check list of the world's whiteflies (Insecta: Hemiptera: Aleyrodidae). **Zootaxa 1492**, Aukland, p. 1-84, 2007.

MARTINS, G. C. F., TEIXEIRA, F. A., BONOMO, P., SOUZA, S. O., HORA, D. S., SANTOS, T. C. Densidade populacional de perfilhos de pastagem de *Brachiaria decumbens* diferida e adubada com nitrogênio. **Anais da Reunião anual da sociedade brasileira de zootecnia**. Salvador, BA, Brasil. 2010

MAURICIO, R.; RAUSCHER, M. D. Experimental manipulation of putative selective agents provides evidence for the role of natural enemies in the evolution of plant defense. **Evolution**, Lawrence, v. 51, p. 1435-1444, 1997.

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

MAXWELL, D. P.; WANG, Y., MCINTOSH, L. The alternative oxidase lowers mitochondrial reactive oxygen production in plant cells. **Proceedings of National Academy of Sciences, USA**, v. 96, p. 8271-8276, 1999.

MAZARO, S. M. et al. Controle do tombamento de plântulas de beterraba e tomate pelo tratamento das sementes com quitosana. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, n.11, p.1424-1430, 2009.

- MEDEIROS, M. A., VILLAS BÔAS, G. L.; CARRIJO, O. A.; MAKISHIMA, N.; JUNQUEIRA, N. V. Manejo integrado da traça-do-tomateiro em ambiente protegido. Brasília, DF, **EMBRAPA-CNPQ**. 10p. 2005.
- MEEUSE, B. J. D. Thermogenic respiration in aroids. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 26, p. 117-126, 1975.
- MESCHEDE, D. K. et al. Alterações no metabolismo da cana-de-açúcar em função da aplicação de maturadores. **Planta Daninha**, v. 30, n. 1, p. 113-119, 2012.
- MESSIAS, R.; GALLI, V.; SILVA, S.; SCHIRMER, M.; ROMBALDI, C. Micronutrient and functional compounds biofortification of maize grains. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**. doi:10.1080/10408398.2011.649314, 2013.
- MICHEREFF FILHO, M.; GUIMARAES, J. A.; MOURA, A. P. de. **Manejo integrado de 55 pragas em hortaliças**. In: GUEDES, I. M. R.; VIDAL, M. C. (Ed.). Curso internacional sobre produção sustentável de hortaliças: módulo 2, produção sustentável de hortaliças. Embrapa: Brasília, DF, 2012. p. 75-78.
- MONSON, R. K., JONES, R. T., ROSENSTIEL, T. N., SCHNITZLER, J. P. Why only some plants emit isoprene. **Plant, Cell and Environment**, v.36, p. 503–516, 2013.
- MORAES, G. J.; FLECHTMANN, C. H. W. **Manual de acarologia: acarologia básica e ácaros de plantas cultivadas no Brasil**. Ribeirão Preto: Editora Holos, 308 p. 2008.
- MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2º Ed. Editora UFLA: Lavras, 729p. 2006.
- NAIKA, S., JEUDE, J. V. L., GOFFAU, M., HILMI, M., DAM, B. **A cultura do tomate**. Barbara van Dam, Wageningen, v. 1, p. 104, 2006.
- NORRIS, D. M.; KOGAN, M. Biochemical and morphological bases of resistance. In: MAXWELL, F. G.; JENNINGS, P. R. (Ed.). **Breeding plants resistance to insects**. New York: J. Wiley, p. 23-61, 1980.
- OLIVEIRA, R. B., GODOY, S. A. P., COSTA, F. B. **Plantas tóxicas: conhecimento e prevenção de acidentes**. Ribeirão Preto – SP: Editora Holos, p. 64, 2003.
- ORDOG, S. H.; HIGGINS, V. J.; VANLERBERGHE, G. C. Mitochondrial alternative oxidase is not a critical component of plant viral resistance but may play a role in the hypersensitive response. **Plant Physiology**, v. 129, p. 1858-1865, 2002.
- PANDA, N.; KHUSH, G. S. **Host plant resistance to insects**. Wallingford: CAB International, 431p., 1995.
- PARK, S. W.; KAIMOYO, E.; KUMAR, D.; MOSHER, S.; KLESSIG, D. Methyl salicylate is a critical mobile signal for plant systemic acquired resistance. **Science**, v. 318, p. 113-116, 2007.

PALENCIA, P., MARTÍNEZ, F., PESTANA, M., OLIVEIRA, J. A., & CORREIA, P. J. (2015). Effect of *Bacillus velezensis* and *Glomus intraradices* on fruit quality and growth parameters in strawberry soilless growing system. **The Horticulture Journal**, MI-002.

PEREIRA, G. V. N. et al. Seleção para alto teor de açúcares em genótipos de tomateiro e sua relação com a resistência ao ácaro-vermelho (*Tetranychus evansi*) e a traça (*Tuta absoluta*). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 3, p. 996-1004, 2008.

PICANÇO, M. C.; BACCI, L.; CRESPO, A. L. B.; MIRANDA, M. M. M.; MARTINS, J. C. Effect of integrated pest management practices on tomato production and conservation of natural enemies. **Agricultural and Forest Entomology**, Chichester, v. 9, p. 327-335, 2007.

PIETERSE, C. M. J. et al. Indução de resistência sistêmica por rizobactérias e comunicação na rota de sinalização para uma defesa refinada. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, Passo Fundo, v. 13, p. 277- 295, 2005.

PIETERSE, C. M. J.; VAN WEES, S. C. M.; VAN PELT, J. A.; KNOESTER, M.; LAAN, R.; GERRITS, H.; WEISBEEK, P. J.; VAN LOON, L.C. A novel signaling pathway controlling induced systemic resistance in Arabidopsis. **Plant Cell**, v. 10, p. 1571-1580, 1998.

PODILE, A. R., AND KISHORE, G. K. "Plant growth-promoting rhizobacteria," in *Plant-Associated Bacteria*. ed. S. S. Gnanamanickam (Berlin: **Springer**), p.195–230, 2006.

POZO, M. J.; CORDIER, C.; DUMAS-GAUDOT, E.; GIANINAZZI, S.; BAREA, J. M.; AZCÓN-AGUILAR, C. Localized versus systemic effect of arbuscular mycorrhizal fungi on defense responses *Phytophthora* infection in tomato plants. **Journal Exper. Bot.**, v. 53, p. 525-534, 2002.

QUINTELA, E. D. Manejo integrado dos insetos e outros invertebrados pragas do feijoeiro. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 25, n. 223, p. 113-136, 2004.

RASKIN, I.; EHMANN, A.; MELANDER, W. R.; MEEUSE, B. J. D. Salicylic Acid: A Natural Inducer of Heat Production in Arum Lilies. **Science**, v. 237, n. 4822, p. 1601-1602, 1987.

RESENDE, M. L. V.; NOJOSA, G. A.; AGUILAR, M. A. G.; SILVA, L. H. C. P.; NIELA, G. R.; CARVALHO, G. A.; GIOVANINI, G. R.; CASTRO, R. M. Perspectivas da indução de resistência em cacueiros contra *Crinipellis perniciosus* através do benzotiadiazole (BTH). **Fitopatologia Brasileira**, v. 25, n. 2, p. 149-156, 2000.

REYNOLDS, O. L.; KEEPING, M. G.; MEYER, J. H. Silicon-augmented resistance of plants to herbivorous insects: a review. **Annals of Applied Biology**, Warwick, v. 155, p. 171-186, 2009.

REZENDE, C.P. et al. Alelopatia e suas interações na formação e manejo de pastagens. **Boletim Agropecuário**, Universidade Federal de Lavras, MG, v. 54, p.1-55. 2003.

RHOADES, J.; ROLLER, S. Antimicrobial actions of degraded and native chitosan against spoilage organisms in laboratory media and foods. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 66, p. 80-86, 2000.

ROUPHAEL, Y.; COLLA, G. Synergistic biostimulatory action: Designing the next generation of plant biostimulants for sustainable agriculture. **Frontiers in plant science**, v. 9, p. 1655, 2018.

RUSSO, R.O; BERLYN, G.P. The use of organic biostimulants to help low input sustainable agriculture. **Journal Sustain. Agriculture**, Binghamton, v.1, n.2, p.19-42, 1990.

SABELLI R, MOLENA L, PAREDE J, DELEO J P. Perspectivas 2020: Tomate-SP. **HF Brasil**. 2020.

SALGUEIRO, V. Perspectivas para el manejo del complejo mosca blanca - virosis. In: Taller del centroamericano y del caribe sobre moscas blancas, 1992, Turrialba. Costa Rica. Memoria: Las moscas blanca (Homoptera: Aleurodidae) en America Central y el Caribe. Turrialba: **CATIE**, 1993. P.20-26.

SANTOS, P. L. F., CASTILHO, R. M. M. Relação entre teor de clorofila e nitrogênio foliar em grama esmeralda cultivada em substratos. **Revista Tecnologia & Ciência Agropecuária**, v. 9(4), p. 51-54, 2015.

SATHIYABAMA, M.; BALASUBRAMANIAM, R. Chitosan induces resistance components in *Arachis hypogaea* against leaf rust caused by *Puccinia arachidis*. **Crop Protection**, v.17, p.307-313, 1998. (CATIE. Informe Técnico 205).

SCHNEIDER, M.; SHWEIZER, P.; MEUWLY, P. MÉTRAX, J. P. Systemic acquired resistance in plants. **International Journal of Cytology**, New York, v. 168, p. 3003-304, 1996.

SELOSSE, M. A.; BAUDOIN, E. & VANDENKOORNHUYSE, P. Symbiotic microorganisms, a key for ecological success and protection of plants. **C.R. Biol.**, v. 327, p. 639-648, 2004.

SEPÚLVEDA-CHAVERA, G.; SALVATIERRA-MARTÍNEZ, R.; ANDÍA-GUARDIA, R. Control alternativo del complejo cenicilla (*Leveillula taurica* and *Erysiphe* sp.) en tomate en el valle de Azapa, Chile. **Cienc. Investig. Agrar.**, v.40, p.119–130, 2013.

SHAHIDI, F.; ARACHCHI, J. K. V.; JEON, Y. J. Food applications of chitin and chitosans. **Trends Food Science and Technology**, v.10, p.37-51, 1999.

SHEWRY, P. R.; LUCAS, J. A. Plant proteins that confer resistance to pests and pathogens. **Advances in Botanical Research Incorporating Advances in Plant Pathology**, v. 26, p. 135-192, 1997.

SHULAEV, V.; SILVERMAN, P.; RASKIN, I. Airborne signalling by methyl salicylate in plant pathogen resistance. **Nature**, v. 385, 718-721, 1997.

SIGNINI, R. **Estudo das relações estrutura/propriedades de quitina e quitosana**. 2002. 167p. Tese (Doutorado) - Instituto de Química de São Carlos, São Carlos, SP.

SILVA, C. A., MOURA, E. P. **Avaliação dos teores foliares da clorofila na cultura do girassol (*Helianthus annuus L.*), em relação às concentrações de nitrogênio**. Monografia. Curso de Tecnologia em Mecanização em Agricultura de Precisão, FATEC, 36p, 2013.

SILVA, T. T. A.; VON PINHO, E. V. R.; CARDOSO, D. L.; FERREIRA, C. A.; ALVIM, P. O.; COSTA, A. A. F. Qualidade fisiológica de sementes de milho na presença de bioestimulantes. **Ciência Agrotecnologia**, v. 32, n. 3, p. 840-846, 2008.

SILVA, A. R. A.; BEZERRA, F. M. L.; LACERDA, C. F.; PEREIRA FILHO, J. V.; FREITAS, C. A. S. Trocas gasosas em plantas de girassol submetidas à deficiência hídrica em diferentes estádios fenológicos. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 1, p. 86-93, 2013

SILVA JUNIOR, J. P.; CARDOSO, E. J. B. N. Micorriza arbuscular em cupuaçu e pupunha cultivados em sistemas agroflorestal e em monocultivo na Amazônia Central. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 5, p.819-825, 2006.

SIMMONS, A. T.; GURR, G. M. Trichomes of Lycopersion species and their hybrids: effects on pests and natural enemies. **Agricultural and Forest Entomology**, Oxford, v. 7, p. 265-276, 2005.

SOUZA, J. C.; REIS, P. R. Principais pragas do tomate para mesa: Bioecologia, dano e controle. **Informe Agropecuário**, v. 24, p. 79-92, 2003.

SOUZA, P. V. D. de; AUGUSTI, M.; ABAD, M. et al. Desenvolvimento vegetativo e morfologia radicular de Citrange Carrizo afetado por ácido indolbutírico e micorrizas arbusculares, **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, n.2, p. 249-255, 2000.

SMITH, S. E.; READ, D. J. **Mycorrhizal symbiosis**. 2nd ed. London: Academic Press, 605p., 1997.

SPOEL SH, DONG X. How do plants achieve immunity? Defence without specialized immune cells. **Nature Reviews Immunology**, v.12, p.89–100, 2012.

SRIVASTAVA, M. K. DWIVEDI, U. N. Delaying ripening of banana fruits by salicylic acid. **Plant Science**, v. 158, p. 87-96, 2000.

STADNIK, M. J.; PAULERT, R. Uso de macroalgas marinhas na agricultura. In: **XI Congresso Brasileiro de Ficologia**. Rio de Janeiro, RJ. Museu Nacional do Rio de Janeiro, p. 267-279, 2008.

STINTIZI, A. et al. Plant pathogenesis-related proteins and their role in defense against pathogens. **Biochimie**, v.75, p.687-706, 1993.

STRINGHETA, P. C.; VOLP, A. C. PINHEIRO; OLIVEIRA, T. T. de. Corantes Naturais: Usos e Aplicações como Compostos Bioativos. IN: **Alimentos Funcionais – Componentes Bioativos e efeitos Fisiológicos**. COSTA, N. M. B.; ROSA, C. de O. B. p. 241 – 249, Rubio, Rio de Janeiro, 2014.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

TEIXEIRA, G. M., MOSELA, M., NICOLETTO, M. L. A., RIBEIRO, R. A., HUNGRIA, M., YOUSSEF, K., DE OLIVEIRA, A. G. Genomic insights into the antifungal activity and plant growth-promoting ability in *Bacillus velezensis* CMRP 4490. **Frontiers in microbiology**, v.11, p. 3495, 2021.

TREICHEL, M et al. Anuário Brasileiro do Tomate 2016. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, 2016. 64 p. Disponível em: <<http://www.editoragazeta.com.br/flip/anuario-tomate2016/files/assets/common/downloads/publication.pdf>>. Acesso em: 12 de novembro de 2020.

TRUMAN, W.; BENNETT, M. H.; KUBIGSTELTIG, I.; TURNBULL, C.; GRANT, M. Arabidopsis systemic immunity uses conserved defense signaling pathways and is mediated by jasmonates. **Proceedings of the National Academy of Sciences, USA** v. 104, p. 1075- 1080, 2007.

VANLERBERGHE, C. G.; ROBSON, C. A. Transgenic Plant Cells Lacking Mitochondrial Alternative Oxidase Have Increased Susceptibility to Mitochondria-Dependent and - Independent Pathways of Programmed Cell Death. **Plant Physiology**, v. 129, n. 4, p. 1908- 1920, 2002.

VANLERBERGHE, G. C.; VANLERBERGHE, A. E.; MCINTOSH, L. Molecular genetic alteration of plant respiration (silencing and overexpression of alternative oxidase in transgenic tobacco). **Plant Physiology**, v. 106, p. 1503-1510, 1994.

VAN LOON, L.C. Pathogenesis-related proteins. **Plant Molecular Biology**, v.4, p.111-116, 1985.

VENDRAMIM, J. D. A resistência de plantas e o manejo de pragas. In: CROCOMO, W.B. (Ed.). **Manejo integrado de pragas**. São Paulo: UNESP, p. 177-197, 1990.

VERA, J.; CASTRO, J.; CONTRERAS, R.A.; GONZÁLEZ, A.; MOENNE, A. Oligo-carrageenans induce a long-term and broad-range protection against pathogens in tobacco plants (var. Xanthi). **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v. 79, p. 31-39, 2012.

VERBERNE, M. C.; VERPOORTE, R.; BOL, J. F.; MERCADO-BLANCO, J.; LINTHORST, H. J. M. Overproduction of salicylic acid in plants by bacterial transgenes enhances pathogen resistance. **Nature Biotechnology**, v. 18, p. 779-783, 2000.

VIEIRA, J. G. **Aplicação exógena de ácido salicílico no feijoeiro**. Presidente Prudente. 2011. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade do Oeste Paulista, Presidente Prudente, 2011.

VILLAS BÔAS, G. L. et al. Manejo integrado da mosca-branca *Bemisia argentifolii*. Bellows & Perring (Homoptera: Aleyrodidae) no Distrito Federal. Brasília: **Embrapa**. 11p. 1997 (Circular Técnica, 9).

VILELA DE RESENDE, J. T.; MATOS, R.; ZEFFA, D. M.; CONSTANTINO, L. V.; ALVES, S. M.; VENTURA, M. U.; RESENDE, N. C. V.; YOUSSEF, K. Relationship between salicylic acid and resistance to mite in strawberry. **Folia Horticulturae**, vol.33-1, 2021, p.107-119, 2021.

VOS, C.; BROUCKE, D.V.D.; LOMBI, V.M.; WAELE, D.D. & ELSEN, A. Mycorrhiza-induced resistance in banana acts on nematode host location and penetration. **Soil Biol. Biochem.** v. 10, p. 1-7, 2012.

WAGNER, A. M.; WAGNER, M. J. Changes in mitochondrial respiratory chain components of petunia cells during culture in the presence of antimycin A. **Plant Physiology**, v. 115, p. 617-622, 1997.

WALLER, G. R.; FEUG, M. C. & FUJII, Y. Biochemical analysis of allelopathic compounds: plants, microorganisms, and soil secondary metabolites. In: INDERJIT; DAKSHINI, K. M. M. & FOY, C. L. (Eds.) **Principles and practices in plant ecology**. Boca Raton, CRC Press. p.75-98, 1999.

WEST, H. M. Interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and foliar pathogens: consequences for host and pathogen. In V.K. Brown, (ed) **Multitrophic interactions in terrestrial systems: The 36th symposium of the British Ecological Society**, Royal Holloway, p. 79-86, 1995.

WEIR, T. L.; PARK, S. W.; VIVANCO, J. M. Biochemical and physiological mechanisms mediated by allelochemicals. **Plant Biology**, v.7(4), p.472– 479, 2004.

WIT, P. J. G. M. Visions & reflections (minireview) - How plants recognize pathogens and defend themselves. **Cellular and Molecular Life Sciences**, Switzerland, v. 64, p. 2726-2732, 2007.

XIE, Z.; CHEN, Z. Salicylic acid induces rapid inhibition of mitochondrial electron transport and oxidative phosphorylation in tobacco cells. **Plant Physiology**, v. 120, p. 217-225, 1999.

YAKHIN, O. I.; LUBYANOV, A. A.; YAKHIN, I. A.; BROWN, P. H. Biostimulants in Plant Science: A Global Perspective. **Frontiers in Plant Science**, v.7, n. 2049, p 1-32, 2017.

YANG, C.; YE, Z. Trichomes as models for studying plant cell differentiation. **Cellular and Molecular Life Sciences**, **Basel**, v. 70, p. 1937-1948, 2013.

ZANDONADI, D.B.; SANTOS, M.P.; MEDICI, L.O.; SILVA, J. Ação da matéria orgânica e suas frações sobre a fisiologia de hortaliças. **Horticultura Brasileira**, n.32, p.14-20, 2014

ZHANG, N., YANG, D., WANG, D., MIAO, Y., SHAO, J., ZHOU, X., et al. (2015). Whole transcriptomic analysis of the plant-beneficial rhizobacterium *Bacillus amyloliquefaciens* SQR9 during enhanced biofilm formation regulated by maize root exudates. **BMC Genomics**, v.16, p.685, 2015.

ZHOU, L.; YUEN, G.; WANG, Y.; WEI, L.; JI, G. Evaluation of bacterial biological control agents for control of root-knot nematode disease on tomato. **Crop Protection**, v.84, p. 8-13, 2016.