



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

DIEGO CONTIERO DA SILVA

APLICAÇÃO DE BIOINSUMOS EM TOMATEIROS

Londrina/PR
2023

DIEGO CONTIERO DA SILVA

APLICAÇÃO DE BIOINSUMOS EM TOMATEIROS

Tese de Doutorado apresentado à Pós Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Mauricio Ursi Ventura

Londrina/PR
2023

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

C762a da Silva, Diego Contiero.
APLICAÇÃO DE BIOINSUMOS EM TOMATEIROS / Diego Contiero da Silva. -
Londrina, 2023.
71 f.

Orientador: Maurício Ursi Ventura.

Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2023.
Inclui bibliografia.

1. Agricultura Orgânica - Tese. 2. Bioinsumos - Tese. 3. Tomate - Tese. 4. Sustentabilidade - Tese. I. Ursi Ventura, Maurício. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

CDU 63

DIEGO CONTIERO DA SILVA

APLICAÇÃO DE BIOINSUMOS EM TOMATEIROS

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina para a obtenção do título de doutor.

BANCA EXAMINADORA

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

Prof. Dr. Marcelo A. Aguiar e Silva
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof. Dr. Ricardo Tadeu Faria
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof. Dr. Rogério Barbosa Macedo
Universidade Estadual do Norte do Paraná - UENP

Dr. Helder Rodrigues da Silva
Nova Alga – Biotecnologia

Londrina, ____ de _____ de _____.

AGRADECIMENTOS

À minha família por todo suporte que me foi dado nesses anos. Vocês são meu guia e referência para todo sempre.

À minha companheira Carol Benetti por toda força, suporte, compreensão, puxadas de orelha e muito amor que me deram forças para que esse trabalho fosse concluído.

Ao meu orientador Maurício Ursi Ventura por toda a paciência, atenção, orientação e compreensão para a conclusão desse doutorado.

Ao Pesquisador Helder Rodrigues da Silva pela cessão dos bioinsumos utilizados na segunda parte do trabalho e pelas considerações feitas para a construção desse trabalho.

Ao Professor Fernando Teruhiko Hata pela ajuda indispensável para a conclusão desse trabalho com ajudas na escritas, nas análises realizadas, estatísticas e, principalmente, pela amizade construída desde os tempos de Programa Paraná Mais Orgânico.

Ao Professor Rogério Macedo pelo suporte, conversas, apoio e amizade para desenvolver esse trabalho.

Ao Núcleo de Estudos de Agroecologia e Territórios (NEAT) e a equipe de estagiários formados e de graduação por toda a ajuda e apoio em um momento crucial da minha vida. Michele, Marcelo, Felipe, Maria Eduarda, Caroline Alves, Maria Vitória, Victória Bressani, Renato Siqueira, Lucas Andrade, Gabriely, Júlia Santos, Pedro Henrique esse doutorado é de vocês também!

Ao Programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, por todo suporte fornecido por esses anos.

*A ciência atua na fronteira entre o conhecimento
e a ignorância sem medo de admitir que não sabemos.
Não há nenhuma vergonha nisso.
A única vergonha é fingir que temos todas as respostas*

Neil deGrasse Tyson

SILVA, Diego Contiero da. **Aplicação de bioinsumos em tomateiros**. 2023. 69p. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2023.

RESUMO

Os objetivos dos trabalhos foram avaliar tomateiros cultivados em sistema orgânico em ambiente de cultivo protegido e submetidos à inoculação e coinoculação de *Azospirillum brasiliense* AbV5, *Bacillus velezensis* ZK, *Rhizophagus clarus* e bioestimulante a base de algas com relação á aspectos vegetativos, fitotécnicos, bioquímicos e produtivos e avaliar o desempenho inicial de mudas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) tratados com diferentes bioestimulantes. No primeiro experimento, o plantio foi realizado em ambiente de cultivo protegido no município de Bandeirantes-PR, sendo quatro tratamentos: Bactérias (B), Micorrizas (M), Algas (A) e a junção dos tratamentos anteriores (BMA) e testemunha em esquema fatorial de 100% e 50% da dose de esterco bovino e cama de frango, quatro repetições com delineamento em blocos casualizados para avaliar características vegetativas, fitotécnicas, bioquímicas e produtivas das plantas. Os valores de sólidos solúveis totais apresentaram respostas diferentes na dose 50% de esterco em que o tratamento com bactérias obteve a maior média sem diferença para a testemunha e na dose 100% de esterco o tratamento ficou com a menor média com diferença estatística em relação a testemunha. As variáveis bioquímicas apresentaram valores diferentes para os tratamentos utilizados. A atividade antioxidante pela captura do radical DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazil) para a dose 50% de esterco teve a maior média no tratamento BMA sem diferença estatística entre os tratamentos algas e bactérias. A testemunha teve o menor valor. Os compostos fenólicos totais na dose 50% de esterco a testemunha obteve o maior valor com diferença estatística em relação aos outros e o tratamento BMA apresentou o menor valor entre as médias. Para a dose 100% de esterco, o tratamento BMA apresentou a maior média seguida pela testemunha. O histórico de produção orgânica na área do experimento pode ter influenciado nos resultados obtidos no estudo. A realização do método FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power) para avaliação de atividade antioxidante e mais ciclos produtivos poderiam demonstrar resultados mais robustos. No segundo experimento em Londrina/PR, os tratamentos foram instalados em ambiente de cultivo protegido com delineamento de blocos ao acaso com seis repetições para as variáveis analisadas. Os tratamentos do primeiro experimento foram Spirudrop Zn® dose 50%, Spirudrop Zn® dose 100%, Spirudrop Orgânico® dose 50%, Spirudrop Orgânico® dose 100%, Spirudrop Organomineral® dose 50%, Spirudrop Organomineral® dose 100%, Stimulate® dose comercial, Acadian® dose comercial e testemunha. Para o segundo experimento, os tratamentos foram Soil®, Aglusil®, Power Cup Cu®, Power Cup Zn®, Aglusil®+Power Cup Cu®, Aglusil®+Power Cup Zn®, Soil®+Power Cup Cu®, Soil®+Power Cup Zn® e testemunha. O dados obtidos foram submetidos a testes de normalidade, homocedasticidade e análise de variância pelo teste de Tukey a 5%. Após a discussão dos resultados, a conclusão do trabalho mostra que os bioestimulantes avaliados levaram ao crescimento de parte aérea e crescimento radicular das mudas de tomate. O tratamento Soil®+Power Cup Zn® promoveu incremento de 492,5% na espessura média de raiz das plantas.

Palavras-chave: Agricultura Orgânica. Bioestimulantes. Bactérias Promotoras de Crescimento em Plantas. Extratos de algas. Quitosana.

SILVA, Diego Contiero da. **Application of bioinputs in tomato plants**. 2023. 69p. Thesis (Doctor's Degree) Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2023.

ABSTRACT

The objectives of the work were to evaluate tomatoes grown in an organic system in a protected cultivation environment and subjected to inoculation and co-inoculation of *Azospirillum brasiliense* AbV5, *Bacillus velezensis* ZK, *Rhizophagus clarus*, and seaweed-based biostimulant regarding vegetative, phytotechnical, biochemical, and productive aspects. In addition, to evaluate the initial performance of tomato seedlings (*Solanum lycopersicum* L.) treated with different biostimulants. In the first experiment, planting was carried out in a protected cultivation environment in the municipality of Bandeirantes-PR, with four treatments: Bacteria (B), Mycorrhizae (M), Algae (A), and the combination of the previous treatments (BMA), and control in a factorial scheme of 100% and 50% doses of cattle manure and chicken litter, with four replications using a randomized block design to evaluate vegetative, phytotechnical, biochemical, and productive characteristics of the plants. Vegetative and phytotechnical variables did not show significant differences between treatments. Total soluble solids values showed different responses at the 50% manure dose, where the bacteria treatment obtained the highest average without difference from the control, while at the 100% manure dose, the treatment had the lowest average with statistical difference compared to the control. Biochemical variables showed different values for the treatments used. Antioxidant activity by DPPH radical scavenging for the 50% manure dose had the highest average in the BMA treatment without statistical difference between algae and bacteria treatments. The control had the lowest value. Total phenolic compounds at the 50% manure dose, the control obtained the highest value with statistical difference from the others, and the BMA treatment presented the lowest average. For the 100% manure dose, the BMA treatment had the highest average followed by the control. The organic production history in the experimental area may have influenced the results obtained in the study. The FRAP method (Ferric Reducing Antioxidant Power) for evaluating antioxidant activity and more productive cycles could demonstrate more robust results. In the second experiment in Londrina/PR, the treatments were installed in a protected cultivation environment with a randomized block design with six replications for the analyzed variables. The treatments from the first experiment were Spirudrop Zn® 50% dose, Spirudrop Zn® 100% dose, Spirudrop Organic® 50% dose, Spirudrop Organic® 100% dose, Spirudrop Organomineral® 50% dose, Spirudrop Organomineral® 100% dose, Stimulate® commercial dose, Acadian® commercial dose, and control. For the second experiment, the treatments were Soil®, Aglusil®, Power Cup Cu®, Power Cup Zn®, Aglusil®+Power Cup Cu®, Aglusil®+Power Cup Zn®, Soil®+Power Cup Cu®, Soil®+Power Cup Zn®, and control. The obtained data were subjected to normality tests, homoscedasticity, and analysis of variance by Tukey's test at 5%. After discussing the results, the conclusion of the work shows that the evaluated biostimulants led to the growth of above-ground and root growth of tomato seedlings. The Soil®+Power Cup Zn® treatment promoted a 492.5% increase in the average root thickness of the plants.

Key words: Organic Agriculture, Biostimulants, Plant Growth-Promoting Bacteria, Algae Extracts, Chitosan.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 2.1 - Representação esquemática dos efeitos benéficos dos extratos de algas nas plantas | 22 |
| Figura 2.2 - Estrutura da quitina e quitosana..... | 24 |
| Figura 3.1 - Técnica utilizada para mitigar os efeitos das geadas que ocorreram durante o experimento..... | 38 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 3.1 – Altura (cm) do primeiro cacho (Alt 1º CH); distância (cm) entre o primeiro e o segundo cachos (1º-2º CH) e distância (cm) entre o segundo e terceiro cachos (2º-3º CH) em plantas de tomateiro adubadas com dose 100% e 50% de esterco e inoculadas com fungo micorrízico arbuscular (M), diferentes isolados bacterianos(B), bioestimulantes a base de algas (A). Bandeirantes, 2021..... | 32 |
| Tabela 3.2 – Análise de variância para massa fresca de frutos (MFF) (g), volume (VOL) (mL), comprimento (COMP) (cm), diâmetro (DIA) (cm), Brix, DPPH e TPC em tomateiro cultivado com diferentes fontes de bioestimulantes. Bandeirantes, Paraná, Brasil..... | 33 |
| Tabela 3.3 – Valores médios de sólidos solúveis totais (ºBrix), 2,2 difenil-1-picril-hidrazil (DPPH) e compostos fenólicos totais (TPC) em tomateiro cultivado com diferentes fontes de bioestimulantes. Bandeirantes, Paraná, Brasil..... | 34 |
| Tabela 4.1 – Tratamentos utilizados e dosagens utilizadas para formação de mudas na cultura do tomateiro no primeiro experimento. Londrina, Paraná, Brasil | 45 |
| Tabela 4.2 – Tratamentos utilizados e dosagens utilizadas em bandejas para formação de mudas na cultura do tomateiro no segundo experimento. Londrina, Paraná, Brasil..... | 46 |
| Tabela 4.3 – Análise de variância para MSA (massa seca de parte aérea), MSR (massa seca radicular), MST (massa seca total), MSR/MST (razão da massa seca radicular pela massa seca total), DIA (espessura média de raiz – diâmetro), COMP (comprimento de trama de raiz), VOL (volume da trama de raiz), LARG (largura da trama de raiz), AREA (área superficial da trama de raiz) em mudas de tomateiro cultivadas com diferentes fontes de bioestimulantes do primeiro experimento. Londrina, Paraná, Brasil..... | 47 |
| Tabela 4.4 – Valores médios para as variáveis MSA (massa seca de parte aérea), MST (massa seca total), COMP (comprimento de trama de raiz), VOL (volume da trama de raiz), LARG (largura da trama de raiz), AREA (área superficial da trama de raiz) em mudas de tomateiro cultivadas com diferentes tratamentos com bioestimulantes do primeiro experimento. Londrina, Paraná, Brasil..... | 48 |
| Tabela 4.5 – Análise de variância para MSA (massa seca de parte aérea), MSR (massa seca radicular), MST (massa seca total), MSR/MST (razão da massa seca radicular pela massa seca total), DIA (espessura média de raiz – diâmetro), COMP | |

(comprimento de trama de raiz), VOL (volume da trama de raiz), LARG (largura da trama de raiz), AREA (área superficial da trama de raiz) em mudas de tomateiro cultivadas com diferentes fontes de bioestimulantes do segundo experimento. Londrina, Paraná, Brasil.....49

Tabela 4.6 – Valores médios para as variáveis MSA (massa seca de parte aérea), MSR (massa seca radicular), MST (massa seca total), DIA (espessura média de raiz – diâmetro), COMP (comprimento de trama de raiz), VOL (volume da trama de raiz), LARG (largura da trama de raiz), AREA (área superficial da trama de raiz) em mudas de tomateiro cultivadas com diferentes tratamentos com bioestimulantes do terceiro experimento. Londrina, Paraná, Brasil50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|----------|--|
| A | Tratamento bioestimulante de algas |
| Acad | Acadian® |
| Algl | Alglusil® |
| Alt 1ºCh | Altura do primeiro cacho |
| ANC | Alglusil® + Power Cup Cu® |
| ANZ | Alglusil® + Power Cup Zn® |
| AREA | Área da trama de raízes em centímetros quadrados |
| B | Tratamento <i>A. brasiliense</i> + <i>B. velezensis</i> |
| BMA | Tratamento <i>A. brasiliense</i> + <i>B. velezensis</i> + <i>R. clarus</i> + bioestimulante de algas |
| BPCP | Bactérias Promotoras de Crescimento em Plantas |
| BRIX | Teor de açúcares em °Brix |
| CF | Comprimento dos frutos em centímetros |
| COMP | Comprimento da trama de raízes em centímetros |
| DF | Diâmetro dos frutos em centímetros |
| DIA | Espessura média das raízes em centímetros |
| DPPH | 2,2-difenil-1-picril-hidrazil |
| FMA | Fungos Micorrízicos Arbusculares |
| FRAP | Ferric Reducing Antioxidant Power |
| LARG | Largura da trama de raízes em centímetros |
| M | Tratamento <i>R. clarus</i> |
| MFF | Massa fresca de frutos em gramas |
| MSA | Massa Seca de Parte Aérea |
| MSR | Massa Seca de raízes |
| MSR/MST | Razão entre Massa Seca de raízes e Massa Seca Total |
| MST | Massa Seca Total |
| N | Nitrogênio |
| NCu | Power Cup Cu® |
| NZn | Power Cup Zn® |
| SNC | Tech Crop Soil® + Power Cup Cu® |
| SNZ | Tech Crop Soil® + Power Cup Zn® |

| | |
|--------|--|
| SOC | Spirudrop Orgânico® dose 100% |
| Soil | Tech Crop Soil® |
| SOM | Spirudrop Orgânico® dose 50% |
| SOMC | Spirudrop Organomineral® dose 100% |
| SOMM | Spirudrop Organomineral® dose 50% |
| SPAD | Índice de teor de clorofila na folha |
| Stimul | Stimulate® |
| SZC | Spirudrop Zn® dose 100% |
| SZM | Spirudrop Zn® dose 50% |
| Test | Testemunha |
| TPC | Compostos Fenólicos Totais |
| VF | Volume dos frutos em mililitros |
| VOL | Volume da trama em centímetros cúbicos |

SUMÁRIO

| | | |
|-----------|--|----|
| 1. | INTRODUÇÃO | 12 |
| 2. | REVISÃO DE LITERATURA | 14 |
| 2.1 | USO DO NITROGÊNIO NA ADUBAÇÃO | 14 |
| 2.2 | FONTES DE NITROGÊNIO NA AGRICULTURA ORGÂNICA..... | 15 |
| 2.3 | BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO EM PLANTAS (BPCP) | 16 |
| 2.3.1 | Azospirillum | 17 |
| 2.3.2 | Bacillus | 18 |
| 2.4 | FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES | 19 |
| 2.5 | BIOESTIMULANTES NA AGRICULTURA | 20 |
| 2.5.1 | Algas como Bioestimulantes..... | 21 |
| 2.5.1.1 | Microalgas..... | 23 |
| 2.5.2 | Quitosana..... | 24 |
| 2.6 | TOMATE (<i>SOLANUM LYCOPERSICUM</i> L.) | 25 |
| 3. | ARTIGO 1: EFEITO DE BIOINSUMOS NO CRESCIMENTO, PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DO TOMATEIRO | 27 |
| 4. | ARTIGO 2: BIOESTIMULANTES A BASE DE ALGAS E DERIVADOS DE QUITOSANA PROMOVEM CRESCIMENTO RADICULAR EM MUDAS DE TOMATEIRO | 41 |
| 5. | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 56 |
| 6. | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 58 |

1 INTRODUÇÃO

O uso incorreto de insumos agropecuários na agricultura convencional são uma das formas pela contaminação do lençol freático. Sendo o nitrato, o poluente mais encontrado nos aquíferos, derivado dos fertilizantes usados nos plantios.

A agricultura orgânica propõe um meio de produção mais ecologicamente correto, com melhor aproveitamento dos recursos que o agroecossistema fornece, além de diminuir a entrada de insumos externos na propriedade.

Com o crescimento da agricultura orgânica, a indústria de insumos agrícolas vem desenvolvendo produtos permitidos para o uso, segundo as legislações vigentes. Esse limitante se impõe na adubação nitrogenada, pois as opções disponíveis são poucas e a produção de fertilizantes nitrogenados químicos é um processo que gera muita degradação ambiental.

Os produtos permitidos para adubação nitrogenada na agricultura orgânica se resumem em compostagem orgânica, vermicomposto, esterco animais bioestabilizados, biofertilizantes e adubos verdes. No qual, os mais utilizados pelos agricultores são os esterco animais, por ser uma prática já estabelecida desde antigamente. A quantidade de nitrogênio disponibilizada pelo esterco é baixa e necessita de um grande volume para se obter uma resposta efetiva na produção de uma cultura.

Ao imaginar uma produção com rentabilidade econômica na agricultura orgânica, a cultura do tomate é sempre uma alternativa pelo seu manejo bem difundido e valor agregado no momento da comercialização.

O tomate é uma hortaliça amplamente cultivada nas regiões tropicais e subtropicais do mundo. Seu cultivo tornou-se cada vez mais popular por causa da sua aceitação no mercado e bons valores nutritivos. Para a obtenção de uma boa produção, a cultura do tomate depende de uma alta carga de adubação considerando os adubos químicos e os orgânicos.

No manejo orgânico, o uso do esterco para a produção de tomate é essencial para o bom desenvolvimento da cultura. Isso gera uma demanda grande de esterco para sustentar uma produção rentável economicamente, onde esse insumo pode ficar indisponível para ser adquirido e gerar um problema na cadeia produtiva do

tomate orgânico.

O uso de bioinsumos e bioestimulantes, como bactérias promotoras de crescimento de plantas, fungos micorrízicos, substâncias húmicas, extratos de macro e microalgas, quitosana, tem sido uma estratégia adotada para auxiliar na produção através o incremento de produção, melhor desenvolvimento de plantas, promoção do sistema de defesa nas plantas

Nesse contexto, a utilização de produtos biológicos como bactérias promotoras do crescimento em plantas, fungos micorrizicos arbusculares, quitosana e extratos de algas podem contribuir na redução da demanda do uso de fertilizantes na produção do tomate orgânico e na produção de mudas de tomate com mais qualidade.

Assim, o objetivo dos dois experimentos foram avaliar o uso de bioinsumos na cultura do tomateiro como bactérias promotoras de crescimento de plantas, fungos micorrízicos arbusculares, bioestimulantes a base de algas e bioestimulantes a base de quitosana, isolados ou associados, em parâmetros relacionados ao desenvolvimento radicular de mudas, aspectos fitométricos, bioquímicos e produtivos em ambiente de cultivo protegido.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 USO DO NITROGÊNIO NA ADUBAÇÃO

Por ser praticamente inexistente nas rochas que formam o solo (RAIJ, 1991), e um dos elementos minerais mais requeridos pelas plantas, o nitrogênio (N) é com frequência o nutriente que mais limita a produtividade das culturas (KIRKBY, 2012).

Embora 78% da atmosfera seja composta de nitrogênio diatômico (N_2), a maioria dos organismos não têm a capacidade de utilizá-lo para a composição de suas moléculas. Contudo, existem processos, naturais e industriais, capazes de converter o N_2 em formas mais reativas de nitrogênio, denominados fixação de nitrogênio (GALLOWAY et al., 2004).

A fixação de N_2 ocorre por dois processos naturais: por intermédio de descargas elétricas atmosféricas e pela fixação biológica de N_2 , realizada por microrganismos detentores do complexo enzimático nitrogenase (GALLOWAY et al., 2004).

O processo industrial foi fundamentado pela descoberta da síntese da amônia (NH_3), por Fritz Haber, em 1908, e sua rápida industrialização e comercialização, liderada por Carl Bosch, por volta de 1913 (SMIL, 2004). O processo Haber-Bosch (PHB) é considerado a mais importante invenção do Século XX (SMIL, 1999), responsável por viabilizar o incremento populacional de 2,6 bilhões, em 1950, para os atuais 7 bilhões.

Estima-se que mais de 40% (SMIL, 1999) ou mais de 80% (HOWARTH, 2008) do N-proteico do corpo humano, na atualidade, sejam oriundos de fertilizantes nitrogenados sintéticos, evidenciando a forte dependência da humanidade à indústria do nitrogênio.

O uso do N como fertilizante é uma prática comum para o aumento do crescimento de produtividade das culturas. Esse uso do N em sistemas de produção aumentaram rapidamente nas últimas décadas para suprir as demandas de produção de alimentos e biocombustíveis (OUYANG; REEVE; NORTON, 2018).

Apesar da grande quantidade de N usada na fertilização de culturas, as plantas são capazes de assimilar entre 30-40% do total aplicado. A maior perda ocorre por lixiviação, desnitrificação e volatilização da amônia para a atmosfera (PÉREZ-RODRIGUES et al., 2020).

Para Crews e Peoples (2004), durante o século XX, produtores em todo o mundo substituíram as rotações com leguminosas e outras fontes tradicionais de N por fertilizantes sintéticos. Uma porcentagem considerável da população agora depende destes fertilizantes para a sobrevivência.

2.2 FONTES DE NITROGÊNIO NA AGRICULTURA ORGÂNICA

Na agricultura orgânica o uso de fertilizantes nitrogenados sintéticos é proibido (FAO, 2010; BRASIL, 2021). Devido ao fato do Processo Haber-Bosch (PHB) não ser sustentável, aos impactos negativos do uso intensivo de N-sintético. O PHB é sustentado pelo elevado consumo de combustíveis fósseis, que são recursos não renováveis, contribuindo efetivamente para a poluição do ar, acidificação da biosfera e o aumento da concentração de gases de efeito estufa (IPCC, 2007; GALLOWAY et al., 2008; RICE & HERMAN, 2012).

Já o uso intensivo de fertilizantes nitrogenados sintéticos tem causado danos ao meio ambiente e ameaçado a saúde humana com a contaminação de corpos d'água e aquíferos por nitritos oriundos dessa adubação. (VITOUSEK et al., 1997; TOWNSEND et al., 2003; GALLOWAY et al., 2008; FAO, 2018).

As principais fontes de nitrogênio na agricultura orgânica são obtidas através da simbiose de leguminosas com bactérias fixadoras de nitrogênio através da Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN), adubação verde com leguminosas e fertilizantes orgânicos como esterco, húmus, compostos e resíduos agroindustriais (ALMEIDA, 2012). Essas práticas são usadas para aumentar a matéria orgânica do solo e melhorar características físicas, químicas e biológicas (REEVE et al., 2016; OUYANG; REEVE; NORTON, 2018).

Na prática, o ideal da autossuficiência em N é raramente alcançado. A maioria das produções orgânicas depende da compra de fertilizantes orgânicos para compensar os desequilíbrios e as perdas ocorridas ao longo do processo de produção (MCCOY, 2006).

O custo do insumo tende a aumentar com o aumento da distância percorrida para a sua aquisição, além da dependência do recurso externo poder resultar em estabelecimentos mais suscetíveis economicamente, pois se por algum motivo não for possível adquirir o insumo, a produção fica inviabilizada (ALMEIDA, 2012).

Não basta um fertilizante ser orgânico para que possa ser usado em agricultura orgânica. Normativas técnicas que regulamentam esses sistemas estão sendo cada vez mais rigorosas quanto à permissão ao uso de determinados fertilizantes orgânicos, sobretudo, se oriundos de sistema de produção convencional (ALMEIDA, 2012).

Nesse contexto, Gliessman (2001) define a agroecologia como a aplicação de conceitos e princípios ecológicos no desenho e manejo de agroecossistemas sustentáveis, tem buscado desenvolver tecnologias, no âmbito da agricultura orgânica, capazes de melhorar a autonomia/eficiência do sistema produtivo, minimizando a sua dependência a insumos externos.

2.3 BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO DE PLANTAS (BPCP)

Bactérias são conhecidas por serem, de certa forma, onipresentes em relação aos outros organismos e elas não se distribuem muito bem. Sendo que a concentração de bactérias ao redor de raízes de plantas é muito maior que a concentração encontrada em um solo a granel (OLANREWAJU; GLICK; BABALOLA, 2017).

A microbiota do solo como um componente do ecossistema edáfico tem um importante papel em regular a fertilidade do solo, a ciclagem de nutrientes e a manutenção da diversidade de plantas (FITZSIMONS; MILLER, 2010; RAMAKRISHNA; YADAV; LI, 2019).

Muitas das bactérias que são encontradas no entorno das raízes das plantas (rizosfera) tem a habilidade de facilitar o crescimento das plantas. Sendo chamadas de bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP). Podemos chamar de BPCP, as bactérias de vida livre no solo e as rizobactérias que colonizam a região da rizosfera (OLANREWAJU; GLICK; BABALOLA, 2017; RAMAKRISHNA; YADAV; LI, 2019).

O uso de BPCP exerce efeitos benéficos no crescimento das plantas através de mecanismos diretos e indiretos. Diretos como aumentar a disponibilidade de nutrientes e o uso mais eficiente deles através da solubilização de fósforo, produção de sideróforos, a fixação de N e produção de fitohormônios (SALOMON et al., 2014; COHEN et al., 2015; PÉREZ-RODRIGUES et al., 2020). Indiretos como proteção contra patógenos, controle biológico de bactérias pela produção de

sideróforos, antibióticos, terpenos e indução de resistência sistêmica (SALOMON et al., 2014, PÉREZ-RODRIGUES et al., 2020).

As principais BPCP usadas na fertilização pertencem ao filo Proteobacteria e Firmicutes e incluem espécies dos gêneros *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Burkholderia*, *Streptomyces* e *Rhizobia* (GLICK, 2012; RAMAKRISHNA; YADAV; LI, 2019; PÉREZ-RODRIGUES et al., 2020). Onde *Azospirillum* e *Bacillus* são largamente utilizadas em inoculações por trazerem diversos efeitos benéficos para as plantas (FUKAMI et al., 2018).

2.3.1 *Azospirillum*

O gênero *Azospirillum* foi descoberto por Johanna Dobreiner na década de 70 e ganhou importância pela habilidade de fazer a fixação biológica do nitrogênio atmosférico. É distribuído geograficamente de forma ampla, podendo ser encontrado em regiões temperadas e tropicais (HUNGRIA; NOGUEIRA; ARAUJO, 2016; DUARTE et al., 2019).

Essas bactérias são gram-negativas, de vida livre, medem 0,8 a 2 µm de diâmetro e 2 a 4 µm de comprimento. Possuem temperatura ótima de desenvolvimento entre 28 e 41°C. Essas bactérias são estritamente aeróbias em um ambiente livre de N₂ e fornecido com fontes de nitrogênio ou microaerofílicas, o que as obriga a fixar nitrogênio (DOBBELAERE et al., 2002; DUARTE et al., 2019).

Azospirillum spp., em sua maioria, vivem associadas na rizosfera das plantas, na superfície das raízes e, em menor extensão, dentro das raízes. Esse gênero tem um metabolismo de carbono e nitrogênio flexível que aumenta sua habilidade de competir pela colonização da rizosfera (SIVASAKTHIVELAN; SARANRAJ, 2013; DUARTE et al., 2019).

Azospirillum spp. é um dos mais eficientes fixadores de nitrogênio no campo quando as condições necessárias para FBN estão presentes, indicando ser esse o maior mecanismo de crescimento de plantas. A produção de reguladores de crescimento de plantas é um dos mecanismos usados por *Azospirillum* spp. para afetar o crescimento das plantas, morfologia de raízes e maximizar o uso dos recursos do solo (SIVASAKTHIVELAN; SARANRAJ, 2013; MEHNAZ, 2015; DUARTE et al., 2019).

Temos 15 espécies de *Azospirillum* identificadas até o momento: *A. lipoferum*, *A. brasilense*, *A. amazonense*, *A. halopraeferens*, *A. irakense*, *A. largimobile*, *A. doebereinereae*, *A. oryzae*, *A. melinis*, *A. canadiana*, *A. zaeae*, *A. rugosum*, *A. palatum*, *A. picis* e *A. thiophilum*. *A. brasilense* é amplamente distribuída em solos tropicais e subtropicais, que contribuiu com vários estudos que mostram que ela promove crescimento de plantas e conseqüentemente aumenta a produtividade (REIS et al.,2000; DUARTE et al.,2019).

2.3.2 Bacillus

Nas últimas décadas, bactérias endósporas gram-positivas vem recebendo uma boa atenção por diversas descobertas em relação aos seus diversos usos, especialmente na agricultura. Elas são facilmente cultivadas, manipuladas e armazenadas e por isso tem vantagens para propósitos biotecnológicos (ADENIJI; LOOTS; BABALOLA, 2019).

No gênero *Bacillus* tem espécies que são BPCP usadas em sistemas agrícolas, onde a característica de formarem endósporos permitem que sobrevivam a condições de estresse. Essas bactérias são habitantes da microbiota do solo e não impactam negativamente a diversidade microbioana nativa do solo (TORRES et al., 2019).

As espécies dentro do gênero *Bacillus* classicamente usadas como BPCP e agentes de biocontrole são *Bacillus subtilis*, *Bacillus thuringiensis*, *Bacillus amyloliquefaciens* e *Bacillus megaterium*. Mais linhagens vem sendo registradas e disponibilizadas comercialmente, dentre elas a espécie *Bacillus velezensis* (ADENIJI; LOOTS; BABALOLA, 2019; TORRES et al., 2019).

A cepa de *B. velezensis* foi isolada inicialmente na Espanha, no rio Vélez e descrita como uma bactéria gram-positiva com crescimento entre 15° e 45°C e pH entre 5.0 e 10.0. Posteriormente, novas linhagens dessa espécie foram sendo isoladas de diversos outros habitats como água, solo, ar e comida fermentada (RUIZ-GARCÍA et al., 2005; TORRES et al., 2019).

Dentre seus diversos usos, a agricultura se destaca por essa espécie ser uma das fontes principais de inoculantes comerciais no mercado estrangeiro (FAN et al., 2018). Diversas linhagens de *B. velezensis* que promovem crescimento de plantas e controle biológico de patógenos foram identificadas, sendo que suas

atividades vão funcionar dependendo da genética que carregam e a produção de enzimas e metabólitos que desempenham um papel fundamental na supressão de patógenos e na promoção de crescimento de plantas (RABBEE et al., 2019; TORRES et al., 2019).

2.4 FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES

Fungos micorrízicos arbusculares (FMA) criam relações simbióticas com raízes de plantas, onde 80% das espécies vegetais podem fazer esse processo. Essa relação entre FMA e plantas ocorre com angiospermas, pteridófitas e briófitas, onde a maioria das plantas são simbiontes facultativas com os FMA (WANG; QIU, 2006; CHEN et al., 2018).

FMA pertencem ao filo Glomeromycota e possuem 321 espécies descritas com 36 gêneros, sendo que três deles são utilizadas na agricultura: *Rhizophagus*, *Glomus* e *Funneliformis* (SZCZAŁBA et al., 2019; NANJUNDAPPA et al., 2019). As novas ferramentas de identificação, taxonomia e sistemática podem levar a um novo nível, indicando que a diversidade de FMA tem sido subestimada. Portanto, o real número de espécies de FMA, incluindo espécies crípticas, distintas geneticamente e funcionalmente não podem ser distinguidas por parâmetros morfométricos, tende a ser maior (SPATAFORA et al., 2016; LEE et al., 2013, SAVARY et al., 2018; CHEN et al., 2018).

FMA formam estruturas específicas para estabelecer relações simbióticas com as plantas. Vesículas, arbúsculos e hifas se estabelecem nas raízes e hifas e esporos na região da rizosfera (BEGUM et al., 2019). A formação da estrutura de infecção (aparato de pré-penetração) que permite a invasão celular da célula da planta hospedeira e a formação dos arbúsculos intracelulares que servem para fazer a interface nutricional entre os simbiontes é um exemplo de grau de coordenação em nível celular dessa relação simbiótica (GENRE et al., 2008; CHEN et al., 2018).

Com as hifas indo além do sistema radicular, FMA incrementam a ação das raízes em explorar o solo, aumentando, desse modo, a captação de água e nutrientes pelas plantas (BOWLES et al., 2016) e a estrutura e agregados do solo (THIRKELL et al., 2017). Além de condicionar outros benefícios a diversas espécies vegetais, como resistência ao stress hídrico e salino (PORCEL; AROCA; RUIZ-

LOZANO, 2012; AUGÉ; TOLER; SAXTON, 2015) e resistência a fitopatógenos (BAUM; EL-TOHAMY; GRUDA, 2015; SONG et al., 2015).

2.5 BIOESTIMULANTES NA AGRICULTURA

Um aumento nas pesquisas realizadas para identificar corretivos de solo funcionais a serem utilizadas na produção de plantas para melhorar o crescimento, a produtividade e a qualidade das plantas, além de ajudá-las a superar diferentes tipos de estresse ambiental. Atualmente, a produção hortícola precisa enfrentar com os desafios crescentes de alcançar alta produtividade com demandas globais por práticas de manejo de culturas ambientalmente corretas (PARADIKOVIĆ et al., 2018).

Du Jardin et al. (2014) dizem que um bioestimulante de plantas é qualquer substância ou microorganismo, na forma em que é fornecido ao usuário, aplicado em plantas, sementes ou no ambiente radicular, com a intenção de estimular processos naturais das plantas, beneficiando a eficiência do uso de nutrientes e/ou a tolerância ao estresse abiótico, independentemente do seu teor de nutrientes, ou qualquer combinação de tais substâncias e/ou microorganismos destinados a este uso.

Yakhin et al. (2017) apresentam uma outra definição para bioestimulantes como sendo um produto formulado de origem biológica que melhora a produtividade da planta como consequência das novas ou emergentes propriedades do complexo de compostos e não somente pela consequência da presença de nutriente essencial, regulador de crescimento ou componente de proteção já conhecidos para as plantas.

Os bioestimulantes de plantas microbianos e não-microbianos são geralmente usados para culturas em campo aberto e estufas, incluindo árvores frutíferas, culturas de frutas tipo “berry”, videiras, hortaliças, plantas ornamentais, cereais e gramados (ROUPHAEL et al., 2017; ROUPHAEL et al., 2020; BASILE et al., 2020; ROUPHAEL; COLLA, 2020a).

As aplicações de bioestimulantes não-microbianos e microbianos para uso em plantas tem demonstrado melhorar o crescimento e desenvolvimento das plantas, bem como a absorção e translocação de macro e micronutrientes em várias

culturas de grãos e hortícolas, resultando em aumento da produção de biomassa e produção. O crescimento de mudas e da produtividade das culturas em resposta à aplicação de bioestimulantes de plantas não-microbianos e microbianos é atribuída à ação de substâncias bioativas nos metabolismo primário e/ou secundário, levando a uma ampla variedade de respostas bioquímicas, fisiológicas e moleculares (ROUPHAEL; COLLA, 2020b).

Entre os diversos condicionadores biológicos para plantas, existem os bioestimulantes a base de aminoácidos, quitosana, extratos de algas (macroalgas e microalgas) e substâncias húmicas (ABBOTT et al., 2018). Esses produtos representam uma tecnologia eficiente e sustentável ou um complemento as contrapartes sintéticas para melhorar a eficiência no uso de nutrientes e assegurar estabilidade de produção em plantações em condições ótimas ou subótimas (ROUPHAEL; COLLA, 2020a).

2.5.1 Algas como Bioestimulantes

Os extratos de algas são bioestimulantes, e não fertilizantes, pois estimulam a resposta de defesa e crescimento quando aplicados na planta. Além disso, os perfis dos extratos de algas não mostraram naturalmente conter compostos fertilizantes em níveis que o qualificariam como fertilizante. Muita atenção tem sido dada aos extratos à base de algas recentemente, já que estudos revelaram que essas misturas complexas possuem compostos biostimulantes variados, como várias formas de carboidratos, aminoácidos, pequenas quantidades de fito-hormônios, osmoprotetores e proteínas (DU JARDIN, 2015; ALI et al., 2021)

Além de aumentar a tolerância ao estresse, a absorção de nutrientes, o crescimento e o rendimento, os bioestimulantes à base de algas também mostraram ajudar a reduzir a dormência das sementes e a melhorar os sistemas radiculares, a floração, a qualidade e o sabor dos frutos e até mesmo a qualidade dos produtos. Esses efeitos gerais levam a uma melhoria na produtividade das culturas (LI et al., 2015; ALI et al., 2019; ALI et al., 2021).

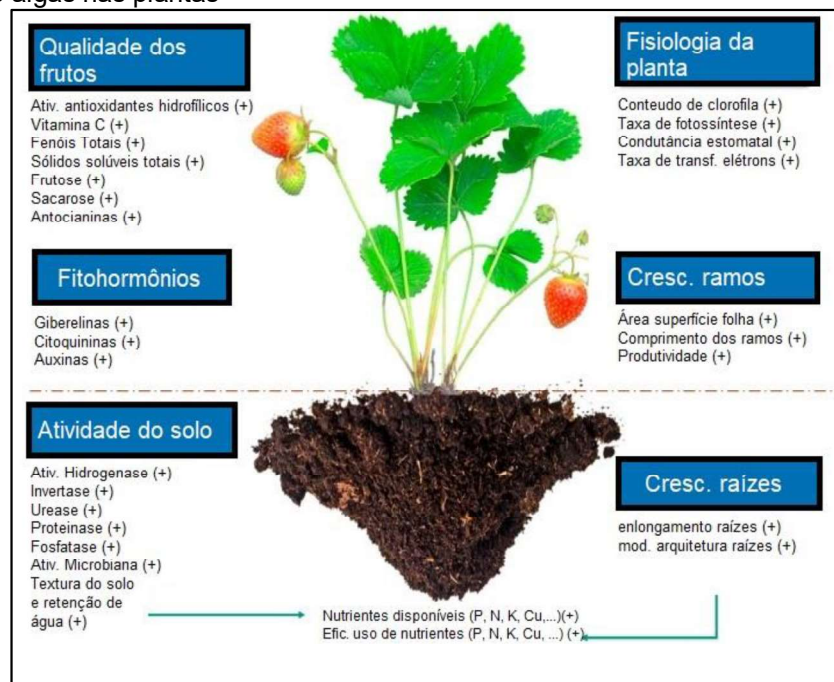
O estímulo de mecanismos de defesa de plantas utilizando componentes extraídos de algas vem mostrando uma estratégia de proteção promissora (BENHAMOU; REY, 2012). Metabólitos encontrados nas algas marinhas vem sendo reportados como protetores de estresses bióticos e abióticos em plantas,

contendo biomoléculas ativas com atividades antifúngicas, antimicrobianas e antivirais (MUKHERJEE; PATEL, 2019).

Comumente, as macroalgas provem metabólitos com alto poder microbiano, sendo essas substâncias do grupo dos florotaninos, ácidos graxos, polissacarídeos, compostos halogenados, alcaloides, terpenos e lectinas (YAKHIN et al., 2017; BEN SALAH et al., 2018). As algas também fornecem, dentro desses compostos, diversos elicitores na sinalização inicial de processos de ativação das vias de metabólitos secundários e a mobilização de sinalizadores para ativação da resposta de defesa das plantas (SHARMA et al., 2014).

Extratos de algas vem sendo utilizados em aplicação direta ou como um composto visando o aumento da fertilidade do solo e a produção das culturas. Com diferentes componentes e variando de acordo com a espécie, as algas normalmente possuem um amplo espectro de componentes minerais, fitohormônios e diferentes polissacarídeos não encontrados em plantas terrestres. Essas substâncias promovem a absorção de nutrientes e minerais, desenvolvimento de raízes e promoção de crescimento nas plantas (RIOUX; TURGEON; BEAULIEU, 2007; CRAIGIE, 2011; MUKHERJEE; PATEL, 2019).

Figura 1. Representação esquemática dos efeitos benéficos dos extratos de algas nas plantas



Fonte: Boukhari et al., 2020

Entre os extratos de algas utilizados temos a base de macroalgas e e os de microalgas. As macroalgas (também conhecidas como algas marinhas) são multicelulares, marinhas ou de água doce e separadas, frequentemente, em três grupos de acordo com a sua pigmentação: Phaeophyta (algas marrons), Chlorophyta (algas verdes) e Rhodophyta (algas vermelhas). As microalgas são representadas por algas azuis e algas verdes (BOUKHARI et al., 2020; ROUPHAEL; COLLA, 2020b).

2.5.1.1 Microalgas

Microalgas são classificadas principalmente em relação a sua pigmentação, ciclo de vida e estrutura celular. São estimadas aproximadamente 800 mil espécies de microalgas, sendo que, pelo menos, 50 mil espécies estão descritas. Esse grande número pode gerar um amplo espectro de usos possíveis. De fato, é possível selecionar diferentes cepas com diferentes composições bioquímicas e que conseguem crescer em diferentes ambientes (RONGA et al., 2019). Elas são organismos fotossintéticos que podem crescer em ambientes marinhos e de água doce, podendo serem produzidas em efluentes líquidos com custos de produção reduzidos (PRIYADARSHANI; RATH, 2012; RONGA et al., 2019).

As espécies de microalgas mais comuns disponíveis comercialmente são: *Isochrysis* spp., *Chaetoceros* spp., *Chlorella* spp., *Arthrospira* spp. e *Dunaliella* spp. Entre elas, *Arthrospira* spp. e *Chlorella* spp. são as principais espécies de microalgas cultivadas e utilizadas comercialmente (SCHIMITZ et al., 2012; RONGA et al., 2019).

Na agricultura, as microalgas são recursos potenciais, entretanto, são geralmente utilizadas por seus altos níveis de nutrientes que aprimoram a produção e o desenvolvimento ótimos do crescimento das culturas, bem como agentes de biocontrole e condicionadores de solo (ALVAREZ et al. 2021). Portanto, pesquisadores têm mostrado o uso de microalgas como uma opção para biostimulantes, biofertilizantes e como biopesticidas (GARCIA-GONZALEZ; SOMMERFELD, 2016; FERREIRA et al. 2021; MARTINI et al. 2021).

Os efeitos benéficos dos biostimulantes à base de microalgas têm sido atribuídos por vários grupos de pesquisa a diversos mecanismos diretos e indiretos, tais como mudanças bioquímicas (estimulação da síntese de clorofilas e carotenoides) e fisiológicas (senescência retardada), regulação positiva de genes-

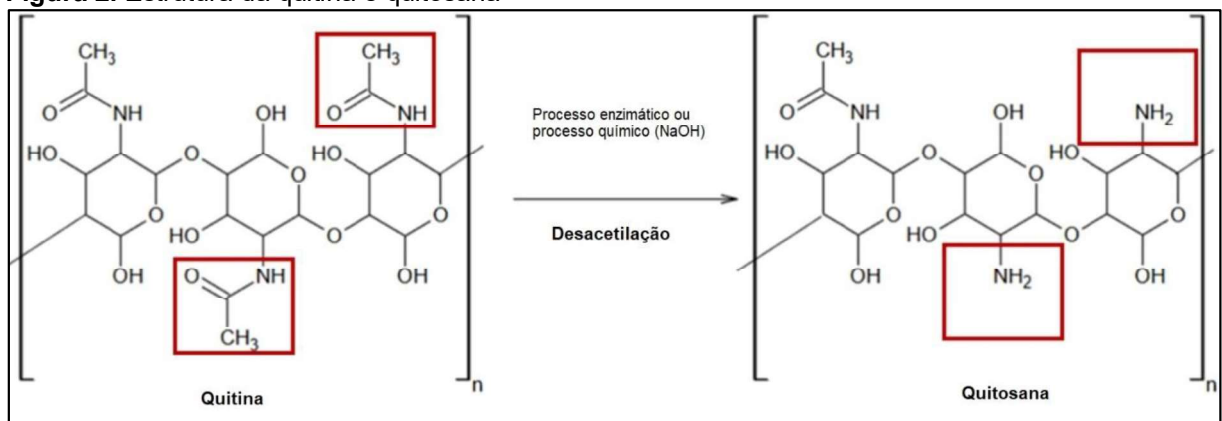
chave envolvidos no metabolismo primário e secundário das plantas, aumento da atividade das comunidades microbianas (rizobactérias e micorrizas) através da liberação de compostos orgânicos de baixo e alto peso molecular na rizosfera, e modulação da arquitetura do sistema radicular e conseqüentemente aumento da absorção e eficiência de macro e micronutrientes (CHIAIESE et al., 2018; RONGA et al., 2019; COLLA; ROUPHAEL, 2020).

2.5.2 Quitosana

A quitina e sua derivativa, quitosana, é conhecida mundialmente pelo seu potencial como agente de biocontrole. A quitina, depois da celulose, é o segundo biopolímero natural mais abundante e importante. A quitina tem diversas aplicações médicas, químicas e na indústria agrícola. A quitosana é um dos amino polissacarídeos naturais mais abundantes extraídos de exoesqueletos de crustáceos, insetos, paredes celulares de fungos. Algumas características importantes da quitosana são biodegradabilidade, atoxicidade, biocompatibilidade e efeito fungicida (CHEN et al, 2021; RISEH et al., 2022).

A quitosana é composto por resíduos de β -1,4-glucosamina e N-acetil glucosamina ligados e é gerado pela desacetilação parcial do polímero quitina. Para converter a quitina em quitosana, a quitina é desacetilada por um processo enzimático ou processo químico (NaOH) que fazem o processo de desacetilação (IGLESIAS et al., 2019; RISEH et al., 2022).

Figura 2. Estrutura da quitina e quitosana



Fonte: Riseh et al., 2022

A quitosana tem demonstrado propriedades antivirais, antibacterianas e antifúngicas. Essas características tem sido exploradas para diversos usos agrícolas. Reforçando os mecanismos de defesa das plantas contra os patógenos, esse uso da quitosana é uma forma inovadora de proteção das plantas. Os efeitos da quitosana na resposta das plantas foram caracterizadas primeiramente como elicitora, estimuladora dos mecanismos de defesa das plantas e estimulando a imunidade das plantas contra microrganismos (SEREI et al., 2007; RISEH et al., 2022).

A quitosana também vem sendo estudada como uma promotora do crescimento de plantas com resultados de diversos estudos que mostram o aumento de produtividade de plantas. A aplicação foliar de quitosana no pimentão em intervalos de sete dias após duas semanas do transplante aumentou peso do fruto, diâmetro do fruto e a produtividade (MAHMOOD et al., 2017; MALERBA; CERANA, 2018). O crescimento de raízes e o crescimento de parte aéreas em mudas de tomate com uso de micropartículas de quitosana em situação de baixa disponibilidade de nitrogênio. A quitosana modificou o sistema radicular das mudas no estágio inicial do desenvolvimento pelo aumento de raízes laterais e modulando o comprimento dessas raízes em relação ao controle sem nenhum tratamento (COLMAN et al., 2022).

2.6 TOMATE (*SOLANUM LYCOPERSICUM*)

O tomate (*Solanum lycopersicum* L.) é uma hortaliça de extrema importância econômica e nos hábitos alimentares nacionais e de diversos outros países do mundo, necessitando de proteção fitossanitária. Seu centro de origem está na América do Sul, mais especificamente na região andina (Peru, Bolívia e Chile) e sua domesticação ocorreu no México (BRANDÃO FILHO et al., 2018). O tomate alcançou em 2019 a marca de 180,7 milhões de toneladas produzidas no mundo todo, sendo a China a líder do ranking com 62,76 milhões de toneladas produzidas. Já o Brasil se apresenta como o décimo produtor mundial com mais de 3,92 milhões de toneladas da hortaliça produzidas no mesmo ano (FAOSTAT, 2021). Segundo o IBGE (2021), Goiás é o líder em produção no país com 1,059 milhões de toneladas produzidas e o Paraná é o quinto maior produtor com 247,2 mil toneladas.

A grande produção da China refere-se a maior área plantada, pois, apesar de ser a maior produtora mundial, possui uma produtividade média de 57,8 t

ha⁻¹, sendo mais baixa do que o Brasil, que é de 71,8 t ha⁻¹ em 2019. A maior produtividade obtida em 2019 foi na Holanda com 505,5 t ha⁻¹ (FAOSTAT, 2021).

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).

A produção de tomate cresceu mais de cem por cento nos últimos 20 anos (FAOSTAT, 2016). Um dos principais fatores para a expansão da cultura é o crescimento do consumo em função do sabor, aroma, textura, elevado valor nutricional (rico em cálcio e vitamina C) e facilidade de preparo dos seus frutos, os quais, quando maduros, possuem licopeno, pigmento vermelho que apresenta propriedades anticancerígenas (ALVARENGA; COELHO, 2013).

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).

Por ser uma importante hortaliça produzida no Brasil, o tomate é utilizado na dieta alimentar como fonte de vitaminas e minerais benéficos para a manutenção do organismo humano (BARANKEVICZ et al., 2015). Entretanto, possui uma alta produtividade por safra sendo uma das plantas mais exigentes em termos nutricionais, necessitando de uma adubação adequada (ADEKIYA; AGBEDE, 2016).

3 ARTIGO 1: Efeito de bioinsumos no crescimento, produtividade e qualidade do tomateiro

RESUMO

O consumo de hortaliças de qualidade e origem sustentável aumentou. O tomate é um dos vegetais mais consumidos no mundo por sua praticidade de consumo. A produção do tomate demanda muitos insumos e isso é um desafio a se superar. O manejo convencional faz uso excessivo de fertilizantes químicos e pesticidas. Já o manejo orgânico faz uso de práticas conservacionistas e que agridem menos o meio ambiente. Nesse contexto, o uso de insumos biológicos como bactérias, fungos micorrízicos e bioestimulantes se faz relevante como estratégia para aumentar a produtividade e causar menor impacto ambiental. O objetivo do trabalho foi avaliar o desenvolvimento de tomateiros cultivados em sistema orgânico em estufa e submetidos à inoculação e coinoculação de *Azospirillum brasiliense* AbV5, *Bacillus velezensis* ZK, *Rhizophagus clarus* e bioestimulante a base de algas com relação á aspectos vegetativos, fitotécnicos, bioquímicos e produtivos. O plantio foi realizado em estufa no município de Bandeirantes-PR, sendo quatro tratamentos: Bactérias (B), Micorrizas (M), Algas (A), a combinação dos tratamentos (BMA) e testemunha em esquema fatorial de dose 100% e dose 50% de esterco bovino e cama de frango, quatro repetições com delineamento em blocos casualizados para avaliar características vegetativas, fitotécnicas, bioquímicas e produtivas das plantas. As variáveis vegetativas e fitotécnicas não demonstraram diferença significativa entre os tratamentos. Os valores de sólidos solúveis totais apresentaram respostas diferentes na dose 50% de esterco em que o tratamento B obteve a maior média sem diferença para a testemunha e na dose 100% de esterco o tratamento ficou com a menor média com diferença estatística em relação a testemunha. As variáveis bioquímicas apresentaram valores diferentes para os tratamentos utilizados. O DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazil) para a dose 50% de esterco teve a maior média no tratamento BMA sem diferença estatística entre os tratamentos A e B. A testemunha teve o menor valor. Os compostos fenólicos totais na dose 50% de esterco a testemunha obteve o maior valor com diferença estatística em relação aos outros e o tratamento BMA apresentou o menor valor entre as médias. Para a dose 100% de esterco, o tratamento BMA apresentou a maior média seguida pela testemunha. O histórico de produção orgânica pode ter influenciado nos resultados obtidos no estudo. Características como sólidos soluveis e compostos fenólicos são influenciadas por genótipo de plantas, características ambientais, características nutricionais do solo. A realização do método FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power) para avaliação de atividade antioxidante e mais ciclos produtivos poderiam demonstrar resultados mais robustos.

Palavras-chave: Agricultura orgânica, Tomate, Bactérias Promotoras de Crescimento de Plantas, Bioinsumos, Sustentabilidade

ABSTRACT

The consumption of high-quality and sustainably sourced vegetables has increased. Tomatoes are among the most consumed vegetables worldwide due to their convenience. Tomato production requires many inputs, posing a challenge to overcome. Conventional management often involves excessive use of chemical fertilizers and pesticides. In contrast, organic management employs conservation practices that are less harmful to the environment. In this context, the use of biological inputs such as bacteria, mycorrhizal fungi, and seaweed-based biostimulants becomes relevant as a strategy to increase productivity while causing less environmental impact. The objective of the study was to evaluate the development of tomato plants grown in an organic system in a greenhouse and subjected to inoculation and co-inoculation of *Azospirillum brasiliense* AbV5, *Bacillus velezensis* ZK, *Rhizophagus clarus*, and seaweed-based biostimulant regarding vegetative, phytotechnical, biochemical, and productive aspects. Planting was carried out in a greenhouse in the municipality of Bandeirantes-PR, with four treatments: Bacteria (B), Mycorrhizae (M), Algae (A), the combination of treatments (BMA), and a control in a factorial scheme of 100% and 50% doses of cattle manure and chicken litter, with four replications using a randomized block design to evaluate vegetative, phytotechnical, biochemical, and productive characteristics of the plants. Vegetative and phytotechnical variables did not show significant differences between treatments. Total soluble solids values showed different responses at the 50% manure dose, where treatment B obtained the highest average without difference from the control, while at the 100% manure dose, the treatment had the lowest average with statistical difference compared to the control. Biochemical variables showed different values for the treatments used. The DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) for the 50% manure dose had the highest average in the BMA treatment without statistical difference between treatments A and B. The control had the lowest value. Total phenolic compounds at the 50% manure dose, the control obtained the highest value with statistical difference from the others, and the BMA treatment presented the lowest value among the averages. For the 100% manure dose, the BMA treatment had the highest average followed by the control. The organic production history may have influenced the results obtained in the study. Characteristics such as soluble solids and phenolic compounds are influenced by plant genotype, environmental characteristics, and soil nutritional characteristics. The implementation of the FRAP method (Ferric Reducing Antioxidant Power) for evaluating antioxidant activity and more productive cycles could demonstrate more robust results.

Key words: Organic agriculture, Tomato, Plant Growth-Promoting Bacteria, Bioinputs, Sustainability

INTRODUÇÃO

A crescente demanda por hortaliças de elevada qualidade, com procedência e cultivo sustentável, tornou-se um fator influente no mercado produtor (SOLDATELI et al., 2019). Com isso, o tomate (*Solanum lycopersicum* L.) é um dos vegetais mais consumidos no mundo, por sua facilidade de consumo (fresco ou processado) e por seu valor nutracêutico sendo considerado um alimento funcional por ser rico em fibras e diversos compostos bioativos (MARTINÉZ-DAMIÁN, 2019; ANDRADE-SIFUENTES et al., 2020).

O tomateiro possui um alto rendimento em sua safra. Assim, exige que sua adubação seja feita de forma adequada para seu crescimento e produção. Determinar como aumentar a qualidade do plantio de tomate sem perder produtividade permanece como um problema urgente para ser solucionado (ADEKIYA; AGBEDE, 2016; WANG et al., 2017).

Assim, a agricultura convencional vem se baseando em um uso cada vez mais dependente de fertilizantes químicos e pesticidas que caminhou para um excessivo uso em algumas áreas, levando a uma degradação de áreas agricultáveis e, conseqüentemente, impactos negativos ao meio ambiente (BHARDWAJ et al., 2014; RAHMAN; ZHANG, 2018). A agricultura orgânica, com o uso de fertilizantes orgânicos para nutrição do solo, vem aumentando frequentemente e está se tornando uma prática agrícola alternativa para manter uma produção vegetal econômica com mínima poluição ambiental e uma alta qualidade de frutos (WANG et al., 2017).

Nesse contexto, o uso de bactérias promotoras de crescimento em plantas (BPCP), fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e extrato de algas como bioestimulantes podem ser uma alternativa para a redução no uso de insumos agrícolas e usando essas estratégias que promovam um crescimento eficiente da sementeira até a planta é relevante no sistema de produção do tomate, especialmente os sistemas orgânicos de produção que são dependentes de insumos alternativos (ZECCHIN et al., 2015; LIMA; VOGEL; FEY, 2018).

A inoculação conjunta de FMA e BPCB apresenta sinergismo à medida que aumenta os efeitos promotores de crescimento e de qualidade na pós-colheita em várias espécies (EMMANUEL; BABALOLA, 2020). Bioestimulantes a partir de extrato de algas promoveram crescimento e maior produtividade de morango, cenoura e tomate (ALAM et al., 2013; ALAM et al., 2014; RENAUT et al., 2019).

O objetivo do presente trabalho foi avaliar variáveis fitométricas, produtividade, variáveis bioquímicas e de qualidade de tomateiros cultivados em sistema orgânico em estufa e submetidos à inoculação e coinoculação de *Azospirillum brasiliense* AbV5, *Bacillus velezensis* ZK, *Rhizophagus clarus* e bioestimulante a base de algas.

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na cidade de Bandeirantes, Paraná, em cultivo protegido, Universidade Estadual do Norte do Paraná (23°06'35.4"S, 50°21'45.3" O; 444 m.). O clima de Bandeirantes, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfa, com clima temperado úmido com verão quente e inverno seco (NITSCHKE et al., 2019).

Mudas de tomateiro da cultivar PaiPai com 30 dias de idade foram transplantadas para a estufa em quatro canteiros com um espaçamento de 1,5m entre linhas e 0,4m entre plantas. As inoculações com *A. brasiliense* AbV5, *B. velezensis* ZK, *R. clarus* e o tratamento com o bioestimulante a base de algas foram feitos no momento da semeadura.

No transplântio foi feita uma adubação de referência utilizada no manejo orgânico orientada pelo IDR-PR Regional de Cornélio Procópio onde a dosagem do esterco bovino e cama de frango foi aplicada com dose cheia e meia dose como parte dos tratamentos. Foram colocados 16 kg.m⁻¹ linear de esterco bovino, 4,4 kg.m⁻¹ linear de cama de frango, 160g.m⁻¹ linear de farinha de osso, 100 g.m⁻¹ linear de calcário dolomítico, 80 g.m⁻¹ linear de sulfato de potássio, 18,75 g.m⁻¹ linear de ácido bórico e 6,25g.m⁻¹ linear de sulfato de zinco, sendo bem incorporados nas linhas de plantio para evitar a perda de mudas. A análise química do solo da área apresentou os resultados M.O.= 33,6 g kg⁻¹; pH (CaCl₂)= 4,3; Ca = 4,6 cmol_c dm⁻³; Mg = 3,4 cmol_c dm⁻³; Al = 0,1 cmol_c dm⁻³; H + Al = 4,8 cmol_c dm⁻³; K = 5,1 cmol_c dm⁻³; C = 26,5 g kg⁻¹ e P = 23,8 mg dm⁻³. Nas análises químicas, o Ca e o Mg foram determinados por titulação com EDTA e o Al por titulação com NaOH. A acidez potencial foi estimada pelo método pH SMP e o P e K foram extraídos utilizando-se solução extratora Melich-1. O P foi determinado por espectrofotometria e o K por fotometria de chama. O carbono orgânico foi quantificado pelo método Walkley-Black. Os tratamentos fitossanitários consistiram em aplicações de óleo de neem, *Bacillus*

thuringiensis e adjuvante com extrato de citronela. Foram feitas três aplicações de oxiclureto de cobre associado com dióxido de cloro para controle de uma possível manifestação de *Fusarium* sp.

As plantas foram conduzidas em haste dupla e tutoradas com três fios de arame esticados no comprimento do canteiro e fitilho plástico como guia das hastes. As desbrotas foram efetuadas periodicamente. Nos 40 DAT, foram determinados os teores de clorofila (índice SPAD) em três folhas diferentes, através do medidor portátil Cloroflog Falker – CFL 1030. Aos 70 DAT foram mensuradas, com o auxílio de trena, a altura do primeiro cacho (cm) e a distância entre cachos (cm). As mensurações de comprimento dos frutos (cm), largura dos frutos (cm), massa fresca dos frutos (g), volume dos frutos (mL) foram feitos com um paquímetro, balança eletrônica proveta graduada de dois litros. O teor de sólidos solúveis (expresso em °Brix) foi medido por intermédio de leitura direta em refratômetro de bancada HANNA – mod. HI 96801 nos frutos maduros dos cachos (60 a 90% da superfície com coloração vermelha). As determinações de compostos fenólicos totais (TPC) e da atividade antioxidante (DPPH e FRAP) serão efetuadas a partir de amostras homogeneizadas (pericarpo e polpa) de três frutos maduros (segundo e terceiro cachos) por planta (AOAC, 2000).

As amostras de frutos para a determinação de compostos fenólicos totais e atividade antioxidante foram liofilizadas e posteriormente trituradas até a formação de um pó homogêneo. A obtenção do extrato para determinação dos compostos fenólicos totais e atividade antioxidante seguiu metodologia descrita por (TAN et al., 2021), com modificações. Um grama de amostra em 10 mL de metanol 80 % (m/v = 1:10) foi mantido em ultrassom a temperatura ambiente durante 30 minutos. Os extratos foram centrifugados por 5 minutos a 1500 ×g e em seguida, o sobrenadante foi coletado e filtrado em papel filtro.

Os compostos fenólicos totais foram determinados por metodologia de Folin-Ciocalteu, com adaptações (BOBO-GARCÍA et al., 2015). Os resultados foram expressos em mg de equivalente ácido gálico (EAG) por grama de massa seca de amostra (mg EAG g⁻¹). A determinação da atividade antioxidante pela captura do radical DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazil) foi realizada segundo metodologia descrita pelos autores com adaptações (BRAND-WILLIAMS; CUVELIER; BERSET, 1995; BOBO-GARCÍA et al., 2015).

Os tratamentos foram *A. brasiliense* + *B. velezensis* (B), *R. clarus* (M), bioestimulante de algas (A), *A. brasiliense* + *B. velezensis* + *R. clarus* + bioestimulante de algas (BMA) e sem nenhuma inoculação (testemunha) em esquema fatorial de dose 100% e dose 50% de esterco bovino e cama de frango.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados em esquema fatorial 2 x 5 com quatro repetições. Os dados foram submetidos a análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Os pressupostos de normalidade dos erros e homogeneidade das variâncias foram testados por Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente ($p > 0,05$).

RESULTADOS

Variáveis Fitométricas e SPAD

Os valores de altura de primeiro cacho, distância entre os cachos até o terceiro cacho e o índice SPAD não apresentaram diferenças estatísticas entre os diferentes tratamentos e não houve interação entre os tratamentos e o fator 100% esterco e 50% esterco (Tabela 3.1).

Tabela 3.1. Altura (cm) do primeiro cacho (Alt 1° CH); distância (cm) entre o primeiro e o segundo cachos (1°-2° CH) e distância (cm) entre o segundo e terceiro cachos (2°-3° CH) em plantas de tomateiro adubadas com dose 100% e 50% de esterco e inoculadas com fungo micorrízico arbuscular (M), diferentes isolados bacterianos(B), bioestimulantes a base de algas (A). Bandeirantes, 2021.

| Tratamentos | Alt 1°CH | 1°-2° CH | 2°-3°CH | SPAD |
|-------------|----------|----------|---------|---------|
| 50% | 44.73 a | 26.90 a | 29.05 a | 45.20 a |
| 100% | 44.36 a | 26.53 a | 28.25 a | 44.90 a |
| F | 0.04 | 0.06 | 0.29 | 0.42 |
| CV | 13.4 | 17.28 | 16.36 | 2.81 |

| Tratamentos | Alt 1°CH | 1°-2° CH | 2°-3°CH | SPAD |
|-------------|----------|----------|---------|---------|
| Test | 45.71 a | 27.50 a | 30.71 a | 45.18 a |
| M | 46.13 a | 28.00 a | 27.50 a | 44.68 a |
| B | 42.83 a | 23.58 a | 29.46 a | 45.51 a |
| A | 43.88 a | 26.96 a | 27.29 a | 44.77 a |
| BMA | 44.21 a | 27.54 a | 28.29 a | 45.09 a |
| F | 0.39 | 1.23 | 0.72 | 0.38 |
| CV | 13.4 | 17.28 | 16.36 | 3.56 |

Test (testemunha); M (*R.clarus*); B (*A. brasiliensis* + *B. velezensis*), A (bioestimulante); BMA (Mico+Bact+Algas). Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, de acordo com o Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Variáveis produtivas, brix, compostos fenólicos totais e DPPH

Os valores de massa fresca dos frutos, volume dos frutos, comprimento de frutos e diâmetro de frutos não apresentaram diferença estatística entre os tratamentos e não houve interação entre os fatores dose 100% esterco e 50 % esterco (tabela 2). Para os valores de brix, compostos fenólicos totais e DPPH obtiveram diferença estatística entre os tratamentos utilizados e a interação entre a dose 100% e 50% de esterco (Tabela 3.2).

Tabela 3.2. Análise de variância para massa fresca de frutos (MFF) (g), volume (VOL) (mL), comprimento (COMP) (cm), diâmetro (DIA) (cm), Brix, DPPH e TPC em tomateiro cultivado com diferentes fontes de bioestimulantes. Bandeirantes, Paraná, Brasil.

| Fonte de variação | GL | Quadrado médio | | | | | | |
|-------------------|----|----------------|---------|--------|--------|---------|-----------|-----------|
| | | MFF | VOL | COMP | DIA | BRIX | DPPH | TPC |
| Tratamentos | 4 | 94410 | 35,8247 | 0,0996 | 0,0185 | 0,2512* | 11617,80* | 9587,21* |
| Blocos | 1 | 0,0037 | 18,6459 | 0,0221 | 0,0002 | 0,2083* | 132,3 | 17812,03* |
| Interação | 4 | 0,0028 | 75,8216 | 0,0505 | 0,0508 | 0,5658* | 1163,13* | 15528,11* |
| Erro | 20 | 0,0013 | 99,5114 | 0,1323 | 0,0347 | 0,0067 | 217,56 | 136,26 |
| CV | | 11,48 | 11,55 | 5,75 | 3,71 | 1,78 | 2,17 | 2,02 |
| Média | | 3235,63 | 88,77 | 6,20 | 5,00 | 4,50 | 0,52 | 0,59 |

Test (testemunha); M (*R.clarus*); B (*A. braziliensis* + *B. velezensis*), A (bioestimulante); Tudo (BMA). Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, de acordo com o Teste de Tukey a 5% de probabilidade. * significativo a 1 % de probabilidade.

Na dose 50% de esterco, o tratamento B apresentou a maior média dos sólidos solúveis totais (^oBrix), mas não diferiu estatisticamente da testemunha que apresentou a segunda maior média (Tabela 3.3). Os tratamentos A e BMA apresentaram as menores médias e não diferiram estatisticamente entre si. Na dose 100% de esterco, o tratamento A apresentou a maior média de todos os tratamentos e apresentando diferença estatística. O tratamento B apresentou o menor valor entre os tratamentos diferindo estatisticamente entre todos. O tratamento BMA apresentou a segunda menor média, apresentando valor menor que a testemunha com diferença estatística.

Para DPPH na dose 50% de esterco, o tratamento BMA obteve a maior média entre os tratamentos, porém não diferiu estatisticamente do tratamento A e B respectivamente e diferiu estatisticamente da testemunha (Tabela 3.3). Na dose 100% esterco, o tratamento B apresentou a maior média dos tratamentos e diferiu

estatisticamente dos outros avaliados, exceto o tratamento A. O tratamento BMA, diferente da meia dose de esterco, foi somente maior que a testemunha.

Para a variável TPC na dose 50% esterco, todos os tratamentos foram menores que o valor da testemunha e diferindo estatisticamente (Tabela 3.3). O tratamento M foi a segunda maior média, seguida respectivamente por B, A e BMA com diferença estatística entre todos. Com a dose 100% esterco, o tratamento BMA apresentou o maior valor de média em relação aos outros tratamentos e diferindo estatisticamente entre eles. A testemunha apresentou o segundo maior valor de média seguido pelo tratamento A, sem diferença estatística entre eles. O tratamento B apresentou o menor valor de média entre os tratamentos avaliados.

Tabela 3.3. Valores médios de sólidos solúveis totais (°Brix), 2,2 difenil-1-picril-hidrazil (DPPH) e compostos fenólicos totais (TPC) em tomateiro cultivado com diferentes fontes de bioestimulantes. Bandeirantes, Paraná, Brasil.

| Brix | | | | | |
|-------------|----------|----------|-----------|-----------|----------|
| Tratamentos | Test | M | B | A | BMA |
| Meio | 4,73 Aab | 4,53 Abc | 4,83 Aa | 4,43 Bc | 4,40 Ac |
| Cheio | 4,57 Bb | 4,43 Abc | 3,77 Bd | 5,10 Aa | 4,23 Ac |
| DPPH | | | | | |
| Meio | 0,479 Ac | 0,521 Ab | 0,549 Aab | 0,559 Aa | 0,563 Aa |
| Cheio | 0,429 Ad | 0,529 Ab | 0,569 Aa | 0,551 Aab | 0,491 Bc |
| TPC | | | | | |
| Meio | 0,657 Aa | 0,585 Ab | 0,572 Ac | 0,538 Bd | 0,481 Be |
| Cheio | 0,653 Ab | 0,584 Ac | 0,518 Bd | 0,644 Ab | 0,679 Aa |

Test (testemunha); M (*R.clarus*); B (*A. braziliensis* + *B. velezensis*), A (bioestimulante); BMA (Micorriza+Bactérias+Algas). Médias seguidas de mesma letra minúscula dentro da linha (entre produtos diferentes) e maiúscula dentro da coluna (meia dose ou dose cheia), dentro a mesma variável analisada, não diferem entre si, de acordo com o teste Tukey a 5 % de probabilidade.

DISCUSSÃO

Para as variáveis fitométricas como a altura entre os cachos da planta, o índice de clorofila (SPAD) e as variáveis produtivas como massa fresca dos frutos, comprimento de frutos, largura dos frutos e volume não foram observadas diferenças significativas ($p > 0,05$) entre as médias avaliadas com os tratamentos aplicados no experimento. Esse resultado difere de outros trabalhos que mostram que fungos micorrízicos arbusculares e bactérias promotoras de crescimento de plantas podem melhorar o desenvolvimento de diferentes espécies vegetais (BONA et al., 2017, 2018; ANSARI et al., 2018; ZHANG et al., 2018; CARILLO et al., 2020; KATSENIOS

et al., 2021). Estudos feitos com bioestimulantes a base de algas também mostraram o incremento no crescimento e produção de tomateiros (ALI et al., 2016; ALI et al., 2018).

O local de cultivo é uma estufa com um histórico de adubações de base em sistema orgânico com uma boa estrutura de nutrientes para a cultura do tomateiro. A análise de solo do local mostra teores altos de matéria orgânica (33,6 g kg⁻¹) e fósforo (23,8 mg dm⁻³). Bactérias promotoras de crescimento de plantas podem facilitar o crescimento de espécies vegetais disponibilizando nutrientes como nitrogênio e fósforo que estão em quantidades limitadas no solo, provavelmente não serão possíveis de causar benefício se esses nutrientes estiverem em quantidades suficientes providas por fertilizantes (GLICK, 2012). Aplicação de fertilizantes (químicos ou orgânicos), aplicação de agrotóxicos, diversidade no plantio (rotação de culturas) e boas práticas na agricultura podem afetar os microrganismos do solo de diferentes formas (MBUTHIA et al., 2015). As raízes das plantas liberam substratos na rizosfera que são utilizados pelos microrganismos como fonte primária de energia, aumentando o crescimento microbiano naquele local que leva ao aumento da produção de enzimas extracelulares estimulando a decomposição do carbono orgânico do solo (SHAHZAD et al., 2015; ZHU et al., 2018). As plantas conseguem alterar a atividade microbiana da rizosfera através da competição por nutrientes como o nitrogênio com as bactérias, levando a uma limitação de nutrientes no local e estimulando os microrganismos a buscarem sua necessidade nutricional na matéria orgânica disponível no solo (KUZYAKOV & XU, 2013; ZHU et al., 2018).

A disponibilidade de nutrientes no sistema solo-planta, na rizosfera principalmente, afeta a atividade microbiana e a decomposição da matéria orgânica do solo. Em solos com baixa disponibilidade de nutrientes, os microrganismos suprem suas demandas nutricionais pela maior síntese de enzimas para disponibilizar esses nutrientes retidos na matéria orgânica do solo. Esse processo de mineração microbiana é estimulado pelos exsudatos das raízes que fornecem energia primária. Em solos com nutrientes disponíveis, a microbiota vai utilizar a fonte de nutriente já disponível, não transformando a matéria orgânica do solo original (FONTAINE et al., 2010; DIJKSTRA et al., 2013; CHENG et al., 2014; ZHU et al., 2018).

Fungos micorrízicos arbusculares formam simbiose com plantas através de uma relação de troca de nutrientes (principalmente N e P) que são transferidos do fungo para a planta e diferentes formas de carbono da planta para o

fungo (GOVINDARAJULU et al., 2005). O sistema radicular regula esse processo simbiótico através de uma grande diversidade de compostos orgânicos. Fatores como tipo de solo, pH, aeração, intensidade luminosa, temperatura, disponibilidade de nutrientes, composição da microbiota do solo e espécie vegetal cultivada afetam qualitativamente e quantitativamente esses compostos liberados pela planta. (SINGH; MUKERJI, 2006; SZCZAŁBA et al., 2019).

Substâncias liberadas pelas plantas como estrigolactonas e flavonoides favorecem e sinalizam positivamente essa simbiose entre o FMA e as raízes das plantas. Em situações com baixa disponibilidade de nutrientes, o tomateiro produz estrigolactonas que induzem a micorrização (SHTARK et al., 2018; CARVALHAIS et al., 2019). Quando a disponibilidade de nutrientes está elevada no solo, ocorre diminuição da liberação de flavonoides pela planta o que minimiza a simbiose com o fungo (SINGLA; GARG, 2017). O mutualismo obrigatório ou facultativo é influenciado diretamente pelos índices de nutrientes no solo. Índices altos de fósforo inibem a colonização de micorrizas com redução do crescimento de hifas, menor germinação de esporos, Estudos demonstram que em ambientes com elevados teores de fósforo a colonização micorrízica é inibida, ocorrendo redução na germinação de esporos, no crescimento de hifas e menor formação intracelular de arbúsculos e vesículas nas raízes (NAHER; OTHMAN; PANHWAR, 2013; MAAITAH; MAHADEEN; AL-KARAKI, 2014; ORTAS, 2019) e menor exsudação de estrigolactonas pelas raízes (BALZERGUE et al., 2013).

Os valores de sólidos solúveis totais apresentaram respostas diferentes em relação aos tratamentos utilizados com dose 50% e dose de esterco. Com 50% esterco, o tratamento B apresentou o maior valor de °Brix (4,83), não diferindo estatisticamente da testemunha e diferindo estatisticamente dos outros tratamentos utilizados. Para a dose 100%, o tratamento A apresentou a maior média (5,10) com diferença significativa da testemunha e a testemunha foi a segunda maior média (4,57). O tratamento B ficou com a menor média entre todos os tratamentos com a dose 100% esterco.

Os tratamentos tiveram respostas muito diferentes entre as doses cheias e meias doses de esterco e não condizem com alguns estudos feitos que mostram que bioestimulantes a base de algas podem aumentar os valores do total de sólidos solúveis no tomate (ZODAPE et al., 2011; CHANTHINI et al., 2019). Assim como as bactérias promotoras de crescimento de plantas (YAGMUR e GUNES, 2021;

GASHASH et al., 2022) e fungos micorrízicos arbusculares (BONA et al., 2017; KONG et al., 2020).

Esses atributos de qualidade vão variar de acordo com cada espécie cultivada, práticas agronômicas, condições ambientais e tecnologia pós-colheita. Dependendo dos cultivares e genótipos de plantas existem recomendações específicas quanto à fertilização, controle de doenças e disponibilidade de água. (DI VITTORI et al., 2018; RODRIGUES et al., 2020).

Além disso, em condições de campo, o crescimento e a produtividade ótimos das culturas estão ligados à qualidade e intensidade da luz, temperatura e oferta de água. Assim, a seleção de cultivares depende das características dos locais de cultivo, que, juntamente com o manejo da cultura, podem influenciar fortemente a qualidade dos frutos (RODRIGUES et al., 2020).

A estufa onde o experimento foi implantado sempre foi manejada em sistema orgânico de produção. Sempre contando com uma boa adubação e uso de produtos que enriquecem a microbiota do solo. Outro motivo que acreditamos que não tivemos um padrão de resposta nos tratamentos foi que o experimento enfrentou condições climáticas adversas (dois dias de geada em duas semanas seguidas no período de frutificação) e a necessidade de mais ciclos de plantio utilizando os tratamentos estabelecidos para se obter uma resposta mais concreta da efetividade dos tratamentos no campo.

Figura 3.1. Técnica utilizada para mitigar os efeitos das geadas que ocorreram durante o experimento



Fonte: o próprio autor

Para os compostos fenólicos totais e o DPPH, os tratamentos induziram diferentes respostas. Não houveram diferenças estatísticas em relação a dose 50% ou 100% de esterco para as variáveis analisadas. Na dose 50%, a maior média de DPPH foi obtida com o tratamento BMA (0,563) seguido pelo tratamento A (0,559) e a testemunha obteve a menor média (0,479). Com 100% esterco, a maior média ficou com o tratamento B (0,569) seguido do tratamento A (0,551) e a testemunha foi a menor média (0,429). Nos compostos fenólicos totais, a testemunha teve a maior média (0,657) em relação aos outros tratamentos na dose 50% esterco. Para 100% esterco, a maior média foi do tratamento BMA (0,679) seguida pela testemunha (0,653) e a menor média foi o tratamento B (0,584).

Substâncias antioxidantes tem a capacidade de evitar a oxidação de outros compostos, um processo indesejado, que provoca alterações negativas no sabor e no aroma de modo a deixar os alimentos impróprios para o consumo (EMBUSCADO, 2015). Atividades antioxidantes são expressas principalmente através de dois mecanismos simultâneos: a transferência de hidrogênio e a doação

de elétrons (LORENZO et al., 2018). O método DPPH consiste na determinação da atividade antioxidante através da reação com um radical orgânico que é reduzido ao receber o hidrogênio de um doador. O método FRAP fundamenta-se na reação com um complexo férrico, onde ocorre a redução de Fe^{+3} para Fe^{+2} (LORENZO et al., 2018; SULERIA; BARROW; DUNSHEA, 2020).

Compostos fenólicos são produzidos pelo metabolismo secundários das plantas. Condições ambientais e genótipo da planta tem um papel importante na produção e no acúmulo dessas substâncias. Diferentes fontes de adubação e bioinsumos utilizados podem alterar o metabolismo dessas plantas e o perfil dos compostos fenólicos presentes nos tecidos da planta. Os compostos fenólicos são compostos bioativos que possuem atividade antioxidante (MANNINO et al., 2020; ROLNIK; OLAS, 2021; HATA et al., 2023).

Assim, dependendo o perfil dos compostos fenólicos que estão no tecido da planta, é esperado que o método utilizado para quantificar a atividade antioxidante corresponda de forma diferente (HATA et al., 2023).

Trabalhos mostram que microrganismos associativos podem interferir na atividade antioxidante de espécies vegetais. Fungos micorrízicos incrementaram compostos antioxidantes em manjerição e orégano (HRISTOZKOVA et al., 2017; SALEH et al., 2020). Tomateiros tratados com diferentes doses de bioestimulantes a base de algas marinhas tiveram aumento nas propriedades antioxidantes medidas pelo método DPPH (MANNINO et al., 2020). A adubação de tomateiros com diferentes dosagens de nitrogênio a partir de composto orgânico demonstrou que os teores de compostos fenólicos totais e a atividade antioxidante (método DPPH) em frutos cresceram com o aumento dos níveis de N. Porém, comportamento oposto foi observado quando adotou-se a metodologia FRAP, onde a maior atividade oxidante foi observada em frutos de plantas que não receberam fertilização nitrogenada (JORGE et al., 2017).

A metodologia FRAP não teve condições de ser efetuada nas análises laboratoriais realizadas para avaliar os índices apresentados e ter uma outra abordagem na análise dos compostos fenólicos que foram evidenciados.

CONCLUSÃO

As variáveis fitométricas e variáveis produtivas não apresentaram alterações em relação aos tratamentos avaliados e a dose 100% e 50% de fertilizante orgânico.

As variáveis bioquímicas e de qualidade foram discrepantes em relação aos resultados obtidos e os estudos já realizados. A metodologia FRAP para leitura de atividade antioxidante não pode ser realizada no laboratório e essa leitura poderia dar uma outra leitura em relação aos compostos fenólicos observados.

O histórico de manejo orgânico realizado na estufa onde o experimento foi implantado pode ter influenciado nos resultados e mais ciclos de plantio com os tratamentos utilizados seriam necessários para resultados mais conclusivos.

4 ARTIGO 2: Bioestimulantes a base de algas e derivados de quitosana promovem crescimento radicular em mudas de tomateiro

RESUMO

A utilização de bioestimulantes agrícolas é fundamental para o desenvolvimento inicial de espécies olerícolas, como o tomateiro, que possuem grande importância socioeconômica e requerem um alto nível tecnológico e intensa mão de obra para o cultivo de procedência e sustentável. O objetivo do presente trabalho foi avaliar o desempenho inicial de mudas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) tratados com diferentes bioestimulantes. Os experimentos foram instalados em casa de vegetação com delineamento de blocos ao acaso com seis repetições para as variáveis analisadas. Os tratamentos do primeiro experimento foram Spirudrop Zn dose 50%, Spirudrop Zn dose 100%, Spirudrop Orgânico dose 50%, Spirudrop Orgânico dose 100%, Spirudrop Organomineral dose 50%, Spirudrop Organomineral dose 100%, Stimulate dose 100%, Acadian dose 100% e testemunha. Para o segundo experimento, os tratamentos foram Soil, Aglusil, Power Cup Cu, Power Cup Zn, Aglusil+Power Cup Cu, Aglusil+Power Cup Zn, Soil+Power Cup Cu, Soil+Power Cup Zn e testemunha. As variáveis analisadas nos dois experimentos foram massa seca de parte aérea (MSA), massa seca radicular (MSR), massa seca total (MST), razão entre massa seca radicular e massa seca total (MSR/MST), espessura média das raízes (DIA), comprimento da trama de raízes (cm) (COMP), volume da trama (cm³) (VOL), largura da trama (cm) (LARG) e área da superfície da trama (cm²) (AREA). Os dados obtidos foram submetidos a testes de normalidade, homocedasticidade e análise de variância pelo teste de Tukey a 5%. Após a discussão dos resultados, a conclusão do trabalho mostra que os bioestimulantes avaliados levaram ao crescimento de parte aérea e crescimento radicular das mudas de tomate. O tratamento Soil+Power Cup Zn promoveu incremento de 492,5% na espessura média de raiz das plantas.

Palavras-chave: Bioestimulantes, Tomate, Quitosana, Extrato de algas, Agricultura Sustentável

ABSTRACT

The use of agricultural biostimulants is essential for the initial development of vegetable species, such as tomatoes, which hold significant socio-economic importance and require a high level of technology and intensive labor for sustainable and traceable cultivation. The objective of this study was to evaluate the initial performance of tomato seedlings (*Solanum lycopersicum* L.) treated with different biostimulants. The experiments were conducted in a greenhouse with a randomized complete block design with six replicates for the variables analyzed. The treatments in the first experiment were Spirudrop Zn 50% dose, Spirudrop Zn 100% dose, Spirudrop Organic 50% dose, Spirudrop Organic 100% dose, Spirudrop Organomineral 50% dose, Spirudrop Organomineral 100% dose, Stimulate 100% dose, Acadian 100% dose, and control. For the second experiment, the treatments were Soil, Aglusil, Power Cup Cu, Power Cup Zn, Aglusil+Power Cup Cu, Aglusil+Power Cup Zn, Soil+Power Cup Cu, Soil+Power Cup Zn and control. The variables analyzed in both experiments were aerial dry mass (MSA), root dry mass (MSR), total dry mass (MST), ratio between root dry mass and total dry mass (MSR/MST), average root thickness (DIA), root length (cm) (COMP), root volume (cm³) (VOL), root width (cm) (LARG) and root surface area (cm²) (AREA). The data obtained were submitted to normality tests, homocedasticity and analysis of variance by Tukey test at 5%. After the discussion of the results, the conclusion of the work shows that the evaluated biostimulants led to the growth of aerial part and root growth of tomato seedlings. The Soil+Power Cup Zn treatment promoted a 492.5% increase in the average root thickness of the plants.

Power Cup Zn, Aglusil+Power Cup Cu, Aglusil+Power Cup Zn, Soil+Power Cup Cu, Soil+Power Cup Zn, and control. The variables analyzed in both experiments were shoot dry mass (MSA), root dry mass (MSR), total dry mass (MST), root-to-shoot dry mass ratio (MSR/MST), average root diameter (DIA), root length (cm) (COMP), root volume (cm³) (VOL), root width (cm) (LARG), and root surface area (cm²) (AREA). The data obtained were subjected to tests of normality, homoscedasticity, and analysis of variance by Tukey's test at 5%. After discussing the results, the conclusion of the study shows that the evaluated biostimulants contributed to the growth of both shoot and root systems of tomato seedlings. The treatment Soil+Power Cup Zn resulted in a 492.5% increase in the average root diameter of the plants.

Key words: Biostimulants, Tomato, Chitosan, Algae Extract, Sustainable Agriculture

INTRODUÇÃO

Espécies olerícolas tem grande importância socioeconômica, principalmente em relação ao processo de cultivo. Somando isso a crescente demanda por uma produção de elevada qualidade, com procedência e cultivo sustentável (VENDRUSCOLO et al., 2016; SOLDATELI et al., 2019; GONZÁLEZ-GONZÁLEZ et al., 2020).

O tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) é uma das olerícolas produzidas em escala mundial, com grande importância socioeconômica, podendo ser fonte de renda para grandes agricultores e agricultores familiares. O tomate alcançou em 2022 a marca de 180,7 milhões de toneladas produzidas no mundo todo, sendo a China a líder do ranking com 39,69 milhões de toneladas produzidas. Já o Brasil se apresenta como o nono produtor mundial com mais de 3,62 milhões de toneladas da hortaliça produzidas no mesmo ano (FAOSTAT, 2023).

Essa cultura precisa de um alto nível tecnológico e intensa utilização de mão de obra do produtor. A relação clima, solo e manejo devem ser levados em consideração para a escolha da variedade a ser cultivada (LIN; WEI.; XU, 2019).

Com isso, o tomate é um dos vegetais mais consumidos no mundo, por sua facilidade de consumo (fresco ou processado) e por seu valor nutracêutico sendo considerado um alimento funcional por ser rico em fibras e diversos compostos bioativos (MARTINÉZ-DAMIÁN, 2019; ANDRADE-SIFUENTES et al., 2020).

Nesse sentido, os estudos sobre melhorias na tecnologia de produção de mudas são relevantes para estruturar os diversos sistemas de produção. A boa

qualidade das mudas garante que as plantas expressarão seu potencial genético (OLIVEIRA et al., 2020).

Os autores Watthier et al. (2016) afirmam que mudas com melhor qualidade do sistema radicular resultam em melhor e maior produção no campo, pois estas apresentam maior resistência ao stress provocado pelo transplante e se restabelecem mais rápido. Vários fatores afetam a formação das mudas, dentre eles a qualidade das sementes, tipo de recipiente, substrato empregado, adubação e manejo durante o processo de produção (LIMA FILHO et al., 2019).

A produção de mudas saudáveis e vigorosas em espécies olerícolas constitui-se em uma importante etapa para o sucesso do ciclo de produção. Neste aspecto, a utilização de substâncias denominadas bioestimulantes agrícolas apresentam-se como um insumo de origem biológica de potencial importância para o desenvolvimento inicial dessas espécies vegetais (RADI, 2019).

Os autores Yakhin et al (2017) definem o termo bioestimulante como um produto formulado de origem biológica que melhora a produtividade da planta como consequência das propriedades novas ou emergentes do complexo de compostos, e não só como um consequência única da presença de um nutriente essencial da planta, reguladores de crescimento das plantas ou compostos para proteção de plantas.

Os bioestimulantes auxiliam na formação de um bom sistema radicular e desenvolvimento de mudas, melhorando o crescimento das plantas, produção e aumentando a resistência a estresses bióticos e abióticos, sendo seus efeitos frequentemente atribuídos à presença de hormônios de crescimento vegetal (CALVO et al., 2014).

Bioestimulantes agrícolas incluem uma variedade de compostos como substâncias e moléculas e/ou microrganismos como ácidos húmicos e fulvicos, hidrolisados de proteína animal ou vegetal, silício, fungos micorrizicos arbusculares, rizobactérias promotoras do crescimento de plantas, reguladores de crescimento vegetal, extrato de plantas e extratos de macroalgas e microalgas (COLLA & ROUPHAEL, 2020; GONZÁLEZ-PEREZ et al., 2021).

Extratos de algas são considerados bioestimulantes por estimular a defesa e o crescimento de plantas. Além disso, esses extratos não têm mostrado conter naturalmente componentes para serem classificados como fertilizantes. Recentes estudos mostram que esses extratos possuem diversos compostos

bioestimulatórios como várias formas de carboidratos, aminoácidos, pequenas quantidades de fitohormônios, osmoprotetores e proteínas (KHAN et al., 2009; DU JARDIN, 2015; ALI et al., 2021).

Além de promover tolerância ao estresse, absorção de nutrientes, crescimento de plantas e produtividade, os extratos de algas têm mostrado que ajudam a reduzir a dormência de sementes, melhorar os sistemas radiculares, florescimento, qualidade de frutos, sabor e até a qualidade da produção. Todos esses efeitos levam a melhoria da produtividade da cultura (LI & MATTSON, 2015; KAPUR et al., 2018; PARADIKOVIC et al., 2018; ALI et al., 2019).

Outro bioestimulante utilizado mundialmente na agricultura é a quitina, presente nos exoesqueletos de crustáceos, cutículas de insetos, em fungos, leveduras e algas, e seu derivativo quitosana. A quitosana é um polissacarídeo composto pela β -1,4 glucosamina e N-acetilglucosamina, derivada da desacetilização da quitina por processos químicos ou enzimáticos. (COLMAN et al., 2019; RISEH et al., 2022). Trabalhos evidenciam que o uso da quitosana media a proteção de plantas contra estresses ambientais e induz o crescimento das plantas através do acúmulo de fitohormônios como auxinas, ácido salicílico e ácido jasmônico (ASGARI-TARGHI et al., 2018; KUMARASWAMY et al., 2018; COLMAN et al., 2019; RISEH et al., 2022).

O objetivo do presente trabalho foi avaliar o desempenho inicial de mudas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) tratados com diferentes bioestimulantes.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos foram instalados em casa de vegetação na Universidade Estadual de Londrina, no município de Londrina, Paraná, Brasil (23° 23'S e 51° 11'O, 585 m), clima subtropical Cfa (Köppen) (NITSCHKE et al., 2019). Foi utilizado o substrato Carolina Soil permitido para cultivo orgânico. As sementes de tomate cultivar PaiPai foram colocadas nas células em bandejas plásticas. A seguir, foram pulverizados os bioestimulantes sobre as sementes nas dosagens apresentadas na Tabela 4.1 e Tabela 4.2, para os dois experimentos, respectivamente, excetuando-se no produto com recomendação para tratamento de sementes. A semeadura e a aplicação dos biestimulantes foram realizadas em 18/08/22. Imediatamente após a pulverização, as sementes foram cobertas com uma camada de vermiculita.

Tabela 4.1. Tratamentos utilizados e dosagens utilizadas para formação de mudas na cultura do tomateiro no primeiro experimento. Londrina, Paraná, Brasil.

| Tratamentos | Dosagens* | |
|-------------------------|----------------------------|---------------------------|
| | Dose 50% | Dose 100% |
| Spirudrop Zn | 0,75mL 100mL ⁻¹ | 1,5mL 100mL ⁻¹ |
| Spirudrop Orgânico | 0,75mL 100mL ⁻¹ | 1,5mL 100mL ⁻¹ |
| Spirudrop Organomineral | 0,75mL 100mL ⁻¹ | 1,5mL 100mL ⁻¹ |
| | <i>Dose comercial</i> | |
| Stimulate | 0,5mL 100mL ⁻¹ | |
| Acadian | 0,5mL 100mL ⁻¹ | |
| Testemunha | <i>Água pura</i> | |

*Diluições montadas em uma proporção de calda de 200L

Para o primeiro experimento foram usados os bioestimulantes Spirudrop Zn®, fertilizante mineral misto composto do extrato da microalga *Arthrospira platensis* com garantia de 2% do micronutriente zinco (Zn) em dose 100% e 50%, Spirudrop Orgânico®, fertilizante orgânico a base do extrato da microalga *Arthrospira platensis* com garantia de 8% de carbono orgânico em dose 100% e 50%, Spirudrop organomineral®, fertilizante organomineral misto composto do extrato da microalga *Arthrospira platensis* com garantia de 2% do micronutriente zinco (Zn) e 8% de carbono orgânico em dose 100% e 50%. Acadian®, fertilizante mineral misto composto do extrato da alga *Ascophyllum nodosum* com garantia de 5,3% de potássio (K₂O) e 6% de carbono orgânico total com 100% da dose comercial. Stimulate®, regulador de crescimento vegetal, cujos ingredientes ativos ocorrem naturalmente na planta com garantia de 0,09g/L de cinetina, 0,05g/L de ácido giberélico e 0,05g/L de ácido 4-indol-3-ilbutírico com 100% da dose comercial e a testemunha.

Tabela 4.2. Tratamentos utilizados e dosagens utilizadas em bandejas para formação de mudas na cultura do tomateiro no segundo experimento. Londrina, Paraná, Brasil.

| Tratamentos | Dosagens* |
|--------------------|--|
| Tech Crop Soil | 25mL L ⁻¹ |
| Aglusil | 5mL kg ⁻¹ sementes |
| Power Cup Cu | 0,75mL L ⁻¹ |
| Power Cup Zn | 0,75mL L ⁻¹ |
| Agl+Cup Cu | 5mL kg ⁻¹ sementes+0,75mL L ⁻¹ |
| Agl+Cup Zn | 5mL kg ⁻¹ sementes+0,75mL L ⁻¹ |
| Soil+Cup Cu | 25mL L ⁻¹ +0,75mL L ⁻¹ |
| Soil+Cup Zn | 25mL L ⁻¹ +0,75mL L ⁻¹ |
| Testemunha | Água pura |

*Diluições montadas em uma proporção de calda de 200L

No segundo experimento, foram utilizados o Tech Crop Soil®, mistura contendo carbonato de cálcio biogênico (10% solúvel) e dióxido de silício associado a extrato de algas e alginatos (uso para aplicação no solo), Aglusil®, utilizando a mesma composição anterior, acrescida de glucosamina proveniente de quitosana (uso para tratamento de sementes). Também foram utilizados os tratamentos Power Cup Cu® e Power Cup Zn® que contém glucosamina acrescida de sulfato de cobre (40%) e sulfato de Zn (53%). Os outros tratamentos foram uma associação entre Aglusil® + Power Cup Cu® e Aglusil® + Power Cup Zn®, outra associação entre Tech Crop Soil® + Power Cup Cu® e Tech Crop Soil® + Power Cup Zn® e uma testemunha.

As mudas foram colhidas 30 dias após a emergência. Uma parte das mudas foi seca em estufa com temperatura de 60°C até massa constante. As mudas foram então pesadas em balança de precisão. Outra parte foi utilizada para registrar as imagens das raízes utilizando-se um scanner de impressora. A seguir, as imagens foram submetidas à análise utilizando-se o software GiA Roots (GALKOVSKYI et al., 2012).

As variáveis analisadas nos dois experimentos foram massa seca de parte aérea (MSA), massa seca radicular (MSR), massa seca total (MST), razão entre massa seca radicular e massa seca total (MSR/MST), espessura média das raízes (DIA), comprimento da trama de raízes (cm) (COMP), volume da trama (cm³) (VOL), largura da trama (cm) (LARG) e área da superfície da trama (cm²) (AREA).

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com seis repetições para as variáveis analisadas. Os dados foram submetidos a análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Os pressupostos de normalidade dos erros e homogeneidade das variâncias foram testados por Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente ($p > 0,05$).

RESULTADOS

Primeiro experimento

As variáveis MSR, MSR/MST e DIA não apresentaram diferença significativa em relação a testemunha. As outras variáveis analisadas mostram diferença significativa com 1% de probabilidade, exceto a variável COMP com 5% de diferença significativa, de acordo com a Tabela 4.3.

Tabela 4.3. Análise de variância para MSA (massa seca de parte aérea), MSR (massa seca radicular), MST (massa seca total), MSR/MST (razão da massa seca radicular pela massa seca total), DIA (espessura média de raiz – diâmetro), COMP (comprimento de trama de raiz), VOL (volume da trama de raiz), LARG (largura da trama de raiz), AREA (área superficial da trama de raiz) em mudas de tomateiro cultivadas com diferentes fontes de bioestimulantes do primeiro experimento. Londrina, Paraná, Brasil.

| Fonte Variação | GL | Quadrado médio | | | | | | | | |
|-------------------|----|----------------|---------|----------|---------|------------|------------|-------------|-----------|-----------|
| | | MSA | MSR | MST | MSR/MST | DIA | COMP | VOL | LARG | AREA |
| Trat. | 8 | 0.00937** | 0.00089 | 0.0157** | 0.05934 | 0.00001557 | 2237.977* | 1707.7137** | 15.6434** | 92.4463** |
| Blocos | 5 | 0.00115 | 0.00092 | 0.00035 | 0.82588 | 0.00001052 | 1005.08226 | 299.0693 | 3.90743 | 4.34652 |
| Erro | 40 | 0.00092 | 0.00057 | 0.00132 | 0.35444 | 8.50E-06 | 779.0861 | 561.1184 | 1.6639 | 8.44219 |
| CV | | 6.84 | 16.74 | 6.21 | 18.56 | 6.76 | 10.57 | 10.16 | 14.61 | 8.46 |
| Média | | 0.443444 | 0.14202 | 0.58546 | 3.20728 | 0.043117 | 264.141 | 233.122 | 8.82685 | 34.3593 |

** significativo a 1 % de probabilidade, * significativo a 5% de probabilidade.

Na variável MSA e MST, o tratamento Spirudrop Zn® dose 100% (SZC) apresentou a melhor média entre todos os tratamentos seguido pelo tratamento Spirudrop Orgânico® dose 100% (SOC) apresentando diferença estatística dos tratamentos comerciais Acadian® e Stimulate® (Acad e Stimul) e a testemunha (Test). Todos os outros tratamentos com o Spirudrop® (SOMM, SZM, SOMC, SOM) obtiveram diferença estatística em relação ao tratamento Stimul e a testemunha.

Para a variável COMP, os tratamentos SZM, SZC e SOMM (Tabela 4.4) apresentaram as melhores médias com diferença estatística em relação a Test. Os outros tratamentos com Spirudrop e os tratamentos comerciais não diferiram entre si e a testemunha estatisticamente.

Tabela 4.4 Valores médios para as variáveis MSA (massa seca de parte aérea), MST (massa seca total), COMP (comprimento de trama de raiz), VOL (volume da trama de raiz), LARG (largura da trama de raiz), AREA (área superficial da trama de raiz) em mudas de tomateiro cultivadas com diferentes tratamentos com bioestimulantes do primeiro experimento. Londrina, Paraná, Brasil.

| Tratamentos | MSA | MST | COMP(cm) | VOL(cm ³) | LARG(cm) | AREA(cm ²) |
|-------------|------------|------------|------------|-----------------------|------------|------------------------|
| Test | 0.37675 c | 0.49265 c | 223.898 b | 204.067 b | 6.8833 cd | 29.7833 b |
| SZC | 0.483517 a | 0.63660 a | 279.233 a | 243.783 ab | 10.6333 a | 36.8833 a |
| SZM | 0.46345 ab | 0.61285 ab | 280.133 a | 237.250 ab | 9.2883 abc | 36.8333 a |
| SOC | 0.47747 a | 0.62482 a | 276.117 ab | 240.083 ab | 10.0533 a | 36.6333 a |
| SOM | 0.4559 ab | 0.60630 ab | 272.717 ab | 245.550 ab | 9.8667 a | 36.7333 a |
| SOMC | 0.4631 ab | 0.60797 ab | 267.900 ab | 243.417 ab | 9.9833 a | 38.2833 a |
| SOMM | 0.46652 ab | 0.61628 ab | 277.333 a | 250.767 a | 9.3667 ab | 36.0833 a |
| Stimul | 0.38817 c | 0.51865 c | 243.883 ab | 224.817 ab | 7.0000 bcd | 30.2667 b |
| Acad | 0.41613 bc | 0.55310 bc | 256.050 ab | 208.367 ab | 6.3667 d | 27.7333 b |
| CV (%) | 6.84 | 6.21 | 10.57 | 10.16 | 14.61 | 8.46 |
| F | 10.172 | 11.867 | 2.8725 | 3.0434 | 9.40165 | 10.9505 |

SZC= spirudrop Zn cheio, SZM= spirudrop Zn meio, SOC= spirudrop orgânico cheio, SOM= spirudrop orgânico meio, SOMC= spirudrop organomineral cheio, SOMM= spirudrop organomineral meio, Stimul= Stimulate, Acad= Acadian, Test= testemunha. CV: Coeficiente de variação. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não apresentaram diferença significativa pelo Teste de Tukey ($p > 0.05$). Médias orginais na tabela. *Os dados foram transformados por $\sqrt{x+1}$.

O tratamento SOMM, para a variável VOL, apresentou a maior média com diferença estatística da testemunha. Os outros tratamentos com Spirudrop e os produtos comerciais não apresentaram diferença estatística entre si, o tratamento SOMM e a testemunha.

Na variável LARG, o tratamento SZC obteve a maior média entre os tratamentos com diferença estatística significativa entre os tratamentos comerciais Stimul, Acad e a testemunha. Todos os tratamentos com Spirudrop foram estatisticamente diferentes com a testemunha. Os tratamentos comerciais não diferiram estatisticamente da testemunha. O tratamento Acad apresentou o menor valor entre as médias.

Para a variável AREA, o tratamento SOMC obteve a maior média entre todos os avaliados e com diferença estatística entre os tratamentos comerciais e a testemunha. Todos os tratamentos com Spirudrop não tiveram diferença

estatística entre si e diferiram significativamente com o tratamento Stimul, Acad e Test. Os tratamentos comerciais não diferiram estatisticamente da testemunha e Acad obteve a menor média entre os tratamentos e a testemunha.

Segundo experimento

A variável MSR/MST não apresentou diferença estatística entre os tratamentos avaliados. Todas as outras variáveis obtiveram diferença estatística significativa a 1% de probabilidade nos tratamentos avaliados conforme a tabela 4.5.

Tabela 4.5. Análise de variância para MSA (massa seca de parte aérea), MSR (massa seca radicular), MST (massa seca total), MSR/MST (razão da massa seca radicular pela massa seca total), DIA (espessura média de raiz – diâmetro), COMP (comprimento de trama de raiz), VOL (volume da trama de raiz), LARG (largura da trama de raiz), AREA (área superficial da trama de raiz) em mudas de tomateiro cultivadas com diferentes fontes de bioestimulantes do segundo experimento. Londrina, Paraná, Brasil.

| Fonte variação | GL | Quadrado médio | | | | | | | | |
|-------------------|----|----------------|------------|----------|----------|------------|-----------|------------------|-----------|-----------|
| | | MSA | MSR | MST | MSR/MST | DIA | COMP | VOL ¹ | LARG | AREA |
| Trat. | 8 | 0.00669** | 0.000874** | 0.0108** | 0.003231 | 0.025495** | 788.679** | 0.00002207** | 2.27834** | 21.8556** |
| Blocos | 5 | 0.00054 | 0.0002306 | 0.00062 | 0.001822 | 0.0043114 | 74.339 | 0.0000170* | 1.0630* | 1.47441 |
| Erro | 40 | 0.001 | 0.000258 | 0.00122 | 0.001940 | 0.007858 | 232.591 | 6.91E-06 | 0.37575 | 3.19916 |
| CV | | 7.10 | 10.87 | 5.91 | 13.16 | 122.36 | 5.55 | 4.10 | 6.24 | 4.85 |
| Média | | 0.44458 | 0.14793 | 0.59251 | 0.334719 | 0.072449 | 264.141 | 0.0641264 | 9.823703 | 36.86481 |

** significativo a 1 % de probabilidade. * significativo a 5% de probabilidade. ¹dados transformados em $1/\sqrt{x}$.

Na variável MSA, o tratamento Soil apresentou o melhor valor de média entre os tratamentos sendo estatisticamente diferente da testemunha. Os tratamentos SNZ, ANZ e Algl também foram diferentes estatisticamente da testemunha e do tratamento SNC. Os tratamentos NCu e NZn não diferiram estatisticamente da testemunha. SNC teve o menor valor de média entre todos os tratamentos e não teve diferença estatística da testemunha (tabela 6).

Para MSR, os tratamentos Algl, SNZ, Soil e ANZ tiveram diferença estatística em relação a testemunha, mas não obtiveram diferença em relação aos outros tratamentos avaliados. SNC, NZn, ANC e NCu não diferiram estatisticamente

em relação a testemunha. A testemunha teve o menor valor de média entre todos os tratamentos.

Em relação a variável MST, os tratamentos Soil, SNZ, ANZ e AlgI apresentaram-se estatisticamente diferentes da testemunha. Os tratamentos NCu, NZn e SNC foram iguais estatisticamente a testemunha. ANC, NCu, NZn e SNC não diferiram estatisticamente entre si (Tabela 4.6).

Tabela 4.6. Valores médios para as variáveis MSA (massa seca de parte aérea), MSR (massa seca radicular), MST (massa seca total), DIA (espessura média de raiz – diâmetro), COMP (comprimento de trama de raiz), VOL (volume da trama de raiz), LARG (largura da trama de raiz), AREA (área superficial da trama de raiz) em mudas de tomateiro cultivadas com diferentes tratamentos com bioestimulantes do terceiro experimento. Londrina, Paraná, Brasil.

| Tratamentos | MSA | MSR | MST | DIA(cm) | COMP(cm) | VOL(cm ³)** | LARG(cm) | AREA(cm ²) |
|-------------|------------|-------------|-------------|------------|-----------|-------------------------|----------|------------------------|
| Controle | 0.3997 bc | 0.120317 b | 0.52008 c | 0.04004 b | 259.70 b | 253,93 ab | 8.53 c | 33.43 d |
| Soil | 0.4797 a | 0.154683 a | 0.63447 a | 0.04583 b | 282.95 ab | 244,88 ab | 10.83 a | 37.33 abc |
| AlgI | 0.4643 a | 0.160117 a | 0.624417 a | 0.04474 b | 287.03 ab | 250,78 ab | 10.15 ab | 37.30 abc |
| NZn | 0.4280 abc | 0.14538 ab | 0.57343 abc | 0.10615 ab | 267.90 ab | 260,05 ab | 9.55 bc | 35.15 bcd |
| NCu | 0.4377 abc | 0.14368 ab | 0.58138 abc | 0.04292 b | 264.87 ab | 262,70 a | 9.57 bc | 34.87 cd |
| ANC | 0.4576 ab | 0.14435 ab | 0.6020 ab | 0.04638 b | 264.83 ab | 246.43 ab | 10.07 ab | 37.97 abc |
| ANZ | 0.4707 a | 0.15447 a | 0.62517 a | 0.04338 b | 271.38 ab | 236,82ab | 9.80 ab | 38.58 a |
| SNC | 0.3881 c | 0.149217 ab | 0.53738 bc | 0.04525 b | 285.27 ab | 228,92 b | 9.87 ab | 38.52 ab |
| SNZ | 0.4751 a | 0.1592 a | 0.6343 a | 0.23736 a | 290.32 a | 220,07 b | 10.05 ab | 38.63 a |
| CV (%) | 7.10 | 10.87 | 5.91 | 122.36 | 5.55 | 4.1 | 6.24 | 4.85 |
| F | 6.7164 | 3.3817 | 8.8390 | 3.2443 | 3.3908 | 3.1960 | 6.0634 | 6.8316 |

Soil= Tech Crop Soil, AlgI= Algusil, NZn= Power Cup Zn, Ncu= Power Cup Cu, ANC= Aglusil+ Power Cup CU, ANZ= Algusil+ Power Cup Zn, SNC= Soil+ Power Cup Cu, SNZ= Soil+ Power Cup Zn, Controle= testemunha. CV: Coeficiente de variação. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não apresentaram diferença significativa pelo Teste de Tukey ($p > 0.05$). Médias originais na tabela. *Os dados foram transformados no inverso $1/x$. ** Os dados foram transformados por $\sqrt{x+1}$.

Na variável DIA, o tratamento SNZ apresentou diferença estatística em relação a testemunha e aos outros tratamentos avaliados, exceto NZn. Todos os outros tratamentos não apresentaram diferença significativa em relação a testemunha.

Para COMP, o tratamento SNZ foi o que apresentou a maior média em relação aos outros tratamentos, não diferiu estatisticamente dos outros tratamentos e demonstrou diferença estatística com a testemunha. Os outros tratamentos não diferiram estatisticamente da testemunha. A testemunha apresentou a menor média entre os tratamentos.

Em relação a variável VOL, o tratamento Ncu obteve a maior média entre os tratamentos e não diferiu estatisticamente da testemunha e dos outros tratamentos avaliados, exceto SNC e SNZ. Os outros tratamentos não diferiram

estatisticamente da testemunha, sendo que a testemunha apresentou a quarta maior média. Os tratamentos SNC e SNZ apresentaram, respectivamente, as menores médias entre os tratamentos.

Na variável LARG, o tratamento Soil obteve a maior média e apresentou diferença estatística em relação aos tratamentos NCu, NZn e a testemunha. Algl, ANC, SNZ, SNC e ANZ não diferiram estatisticamente do tratamento Soil e apresentaram diferença estatística em relação a testemunha. Os tratamentos NCu e NZn não diferiram estatisticamente da testemunha.

Para a variável AREA, o tratamento SNZ e ANZ tiveram as maiores médias entre os tratamentos e apresentaram diferença estatística em relação aos tratamentos NZn, NCu e a testemunha. Os tratamentos SNC, ANC, Soil e Algl foram estatisticamente diferentes da testemunha. NZn e NCu não obteve diferença estatística em relação a testemunha.

DISCUSSÃO

Primeiro experimento

Todos os tratamentos utilizando o bioestimulante Spirudrop® promoveram um maior valor de massa seca de parte aérea e massa seca total obtendo valores maiores que a testemunha e o tratamento comercial com Stimulate®. O tratamento Spirudrop Zn® na dose cheia foi a melhor média entre os tratamentos e apresentou um incremento de 28,3% em relação a testemunha.

Esse incremento corrobora com Guedes et al. (2018) que verificou que a aplicação de extrato de *Spirullina platensis* nas raízes de mudas de mamão promoveu aumento de folhas por planta, diâmetro do caule, altura da planta, aumento de massa fresca e massa seca na concentração ideal de 1,08% do extrato de *S. platensis*. Fadia et al. (2023) também observou que os polissacarídeos extraídos de *Arthrospira platensis* promovem pequeno aumento de germinação nas sementes de tomate e aumento no tamanho das mudas e no peso seco.

Os autores Oliveira et al. (2013) relataram o aumento do peso fresco e peso seco em beterraba (*Beta vulgaris* L.) com aplicações foliares em diferentes concentrações de extrato de *Arthrospira* spp a cada 15 dias seguindo os tratos culturais até a colheita.

Em relação as variáveis avaliadas para as raízes (COMP, VOL, LARG e AREA), o Spirudrop® apresentou um ou mais tratamentos com diferença estatística em relação a testemunha. O tratamento com Spirudrop Zn® na dose 50% apresentou um incremento de 12,6% no comprimento da trama de raízes. No volume da trama, o uso do Spirudrop organomineral® na dose 50% promoveu incremento de 22,9% em comparação a testemunha.

A largura da trama de raízes obteve resultados positivos com os tratamentos feitos com o Spirudrop®, sendo que a dose 100% de Spirudrop Zn® teve um aumento de 51,85% em relação ao tratamento comercial Stimulate®, 54,5% em relação a testemunha e 67,13% em comparação ao tratamento comercial com Acadian®. A dose cheia de Spirudrop organomineral® foi a melhor média entre os tratamentos e promoveu um aumento de 28,5% na área da superfície da trama da raiz em relação a testemunha.

Os bioestimulantes, a base de microalgas, podem afetar também o desenvolvimento das raízes que altera o crescimento e composição nutricional da planta toda pelo fato de que o maior número de raízes laterais melhora a absorção de água e nutrientes. Os autores Mutale-joan et al.(2020) mostraram que o uso um extrato de outra microalga, *Chlorella ellipsoidea*, promoveu incremento no crescimento das raízes, absorção de nutrientes e produção de metabólitos na cultura do tomate. Diversos experimentos vem demonstrado o potencial da atividade bioestimulante das microalgas em diferentes culturas promovendo crescimento vegetativo e aumento produtivo (GARCIA-GONZALEZ & SOMMERFIELD, 2016; BARONE et al., 2018; GUEDES et al., 2018, PLAZA et al., 2018).

Extratos de microalgas contém fitormônios naturalmente, suas células acumulam esses compostos e tem capacidade de secretar isso para o meio extracelular (RONGA et al., 2019; KAPOORE et al., 2021). Fitormônios, incluindo auxinas, citoquininas, ácido abscísico, giberelinas e etileno foram encontrados em extratos de microalgas. Essas moléculas servem como mensageiros químicos para regular atividades celulares, processos metabólicos e absorção de nutrientes em plantas cultivadas. Auxinas e citoquininas estão envolvidas em vários aspectos do desenvolvimento e crescimento das plantas (STIRK et al., 2013; RONGA et al., 2019; KAPOORE et al., 2021). Auxinas tem relação com os tropismos, crescimento de raízes e desenvolvimentos e citoquininas estão relacionadas ao desenvolvimento de raízes, ramos, mobilização de nutrientes, germinação de sementes entre outros

(WOODWARD & BARTEL, 2005; TARRAF et al., 2015; RONGA et al., 2019; KAPOORE et al., 2021). Górka e Wieczorek (2017) determinaram a concentração de nove fitormônios em *Arthrospira* sp. e em *Cladophora glomerata* (macroalga). Quatro fitormônios foram encontrados em *Arthrospira* sp. (isoenteniladenina, ácido abscísico, ácido indolbutírico e ácido naftalenoacético).

Segundo experimento

Os resultados obtidos para as variáveis massa seca de parte aérea, massa seca de raiz e massa seca total mostram que os tratamentos com os produtos com extrato de algas associados com zinco ou com associação com glucosamina proveniente da quitosana ficaram entre as maiores médias entre os tratamentos e diferiram estatisticamente da testemunha.

Esses dados corroboram com Friedrich et al. (2020) que o comprimento radicular de mudas de beterraba aumentou a aplicação de um bioestimulante a base de algas com a dose de 21mL L⁻¹ atingindo o máximo do crescimento. Yusuf et al. (2019) evidenciou que um produto a base de extrato de algas (*Durvillaea potatorum*, *Durvilleaea antarctica* e *Ascophyllum nodosum*) promoveu aumento da altura, massa seca de parte aérea e massa seca de raiz em todas as dosagens avaliadas em relação a testemunha na cultura da alface.

Os autores Ali et al (2018) evidenciaram maior germinação de sementes de tomate e pimenta, maior tamanho de raiz e maior tamanho de parte aérea em situação de estresse salino com uso de diferentes doses de extrato de *A. nodosum*. De acordo com Colman et al. (2019), o uso de micropartículas de quitosana desacetiladas, em diferentes dosagens durante o ciclo de produção de mudas de tomate, promovem uma maior germinação de sementes, maior índice de vigor das sementes, maior biomassa área e maior biomassa de raízes.

Estudos com extratos de algas marinhas (marrons, verdes e vermelhas) vem evidenciando que seus compostos possuem funções bioestimulantes. Compostos como várias formas de carboidratos, aminoácidos, fitormônios, osmoprotetores e proteínas. Esses extratos, além de ajudar na tolerância ao estresse, absorção de nutrientes, crescimento e produção, vem sendo mostrado que também promovem a redução de dormência de sementes e melhoram sistemas radiculares (KHAN et al., 2009; DU JARDIN, 2015; ALI et al., 2019; ALI et al., 2021).

A quitosana promove a mediação de proteção das plantas contra estresses ambientais que envolvem espécies reativas de oxigênio (EROs) e espécies reativas de nitrogênio (ERNs) através da modulação de enzimas do sistema de eliminação de EROs como a catalase, superóxido dismutase e peroxidases. O uso de quitosana induz a uma rápida e intensa acumulação de diversos fitormônios como ácido abscísico, ácido jasmônico, ácido salicílico e auxina e poderia explicar, em partes, o motivo do crescimento vegetal ser tão responsivo ao tratamento (LOPEZ-MOYA et al., 2017; ASGARI-TARGHI et al., 2018, IGLESIAS et al., 2019)

As variáveis espessura média de raiz e comprimento da trama de raízes tiveram incrementos em suas médias de 492,5 % e 11,8 %, respectivamente, em relação a testemunha com o tratamento soil + power cup zinco. Largura da trama de raiz e área da trama de raiz tiveram incrementos com diferença estatística em relação a testemunha, exceto os tratamentos power cup zinco e power cup cobre. Para largura da trama, a melhor média foi do tratamento soil que apresentou um aumento de 26,9% em relação a testemunha. O tratamento soil + power cup zinco foi a melhor média em comparação ao valor da testemunha com um aumento de 15,5% para a variável área da trama de raízes.

Lopez-moya et al. 2017 evidenciaram o aumento da espessura média de raízes de *Arabidopsis* sp., tomate e cevada com doses de quitosana integral, sem mudança estrutural na composição da molécula, pelo acúmulo de auxinas através da expressão de genes da via de biossíntese de triptofano e a repressão do principal gene que promove a translocação da auxina. A resposta positiva da quitosana integral na germinação de sementes e crescimento de mudas leva ao desenvolvimento de nanoformulações de quitosana visando maior produtividade, crescimento mais rápido de mudas, aumento de parte aérea, aumento de raízes e outras características de desenvolvimento da planta (CHOUDHARY et al., 2017). Trabalhos vem indicando que o uso de nanopartículas de quitosana tem um efeito mais pronunciado na germinação de sementes, crescimento de mudas, crescimento de plantas e absorção de nutrientes que a quitosana integral (SAHARAN et al., 2016; CHOUDHARY et al., 2017; RAHMAN et al., 2018; BOAMAH et al., 2023).

Os autores Colman et al., (2022) demonstraram o crescimento de raízes e o crescimento de parte aéreas em mudas de tomate com uso de micropartículas de quitosana em situação de baixa disponibilidade de nitrogênio. A quitosana modificou o sistema radicular das mudas no estágio inicial do

desenvolvimento pelo aumento de raízes laterais e modulando o comprimento dessas raízes em relação ao controle sem nenhum tratamento.

De acordo com Mirbolook et al. (2021), o uso de nanopartículas de quitosana com zinco promoveu o aumento do tamanho de raízes e a absorção do zinco em plantas de feijão cultivadas em sistema de hidroponia e em vasos. O zinco é um micronutriente essencial para o crescimento de plantas e desempenha um papel fundamental em várias reações enzimáticas que são cruciais no metabolismo de carboidratos, estabilidade de membranas celulares, síntese proteica, reações oxidativas e na regulação de crescimento da planta (HAFEEZ et al., 2013; MIRBOLOOK et al., 2021).

CONCLUSÃO

Os bioestimulantes avaliados a base de *Arthrospira platensis* e os bioestimulantes a base de algas marrons, derivados de quitosana associados com zinco promoveram aumento em diversas variáveis como massa seca de parte aérea, comprimento de trama de raízes, volume de raízes, largura da trama de raízes e a área da trama de raízes em mudas de tomate. O tratamento Soil® + Power cup Zinco® promoveu incremento de 492,5% na espessura média de raiz.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A busca por produtos orgânicos está em franca expansão no Brasil e no mundo. A população aumentou a procura por alimentos mais saudáveis e produzidos de forma sustentável. O setor agrícola enfrenta recentemente novos e simultâneos desafios de aumentar a produção com o objetivo de alimentar uma população global em crescimento, concomitantemente, reduzindo impactos ambientais, preservando recursos naturais para as futuras gerações e a contento de manter os custos de produção baixos para poder competir no mercado. O uso dos bioestimulantes de plantas está crescendo e estudos mostram que esses produtos ajudam a diminuir a dependência de insumos externos, assim como assegurar uma estabilidade produtiva em relação a uma condição edáfica e ambiental desfavorável.

A agricultura orgânica tem seu espaço consolidado como um conjunto de práticas que visam equilíbrio ambiental, menor uso de insumos externos, boas práticas de produção, ser socialmente justa e segura para o produtor. Adubações nitrogenadas são um grande desafio na agricultura orgânica pelo fato de que as fontes de nitrogênio disponíveis por legislação para serem utilizadas são finitas e culturas que demandam um uso mais aprimorado de nutrientes, como o caso do tomate, podem ser prejudicadas na sua produção e qualidade.

O primeiro experimento levou em conta uma recomendação para produção de tomate orgânico muito difundida na região por uma extensionista do IDR-PR, em uma estufa com histórico de adubações orgânicas e incremento de microrganismos benéficos de solo. Nesse contexto, as variáveis avaliadas não tiveram as respostas esperadas de acordo com os estudos publicados nessa temática. Um fator importante a ser ressaltado é que a produção dos tomates no primeiro experimento não teve queda de produção entre a dose 100% de fertilizante orgânico e a dose 50% de fertilizante orgânico. Próximos trabalhos podem ser realizados para avaliar essa capacidade de produtividade com menores doses de fertilizantes e o uso dos bioestimulantes para se manter as capacidades produtivas e de desenvolvimento dessa cultura. As variáveis bioquímicas também não responderam com um padrão em relação ao que é visto nos estudos na literatura. A falta de um método de análise de antioxidante no estudo e as condições ambientais, nutricionais e o genótipo de plantas podem ter alterado os resultados obtidos.

O segundo experimento avaliou a resposta da produção de mudas de tomate em relação ao uso de diferentes bioestimulantes (produtos a base de algas, quitosana e microalgas). O experimento foi feito em duas partes para avaliar produtos diferentes em relação as variáveis fitométricas (massa seca de parte aérea, massa seca de raiz, comprimento da trama de raiz, largura da trama de raiz, diâmetro médio das raízes, volume da trama de raízes). Os tratamentos obtiveram resultados significativos e promoveram melhores condições para o desenvolvimento inicial das mudas de tomate. Mudas bem desenvolvidas, com um bom sistema radicular, estão mais aptas de ir para o campo e não desenvolverem problemas com o transplante e subsequente condução da cultura. Destacamos aqui o tratamento com glucosamida (derivada da quitosana) com zinco que promoveu um aumento de 492,5% no diâmetro médio das raízes em relação a testemunha.

Próximos trabalhos podem ser realizados com esses bioestimulantes que causaram promoção de crescimento nas mudas, sendo implantados no campo e avaliando outras variáveis como questões de fertilidade do solo, interação com microrganismos benéficos, controle de doenças e diminuição no uso de fertilizantes. Práticas essas que serão cada vez mais necessárias na agricultura mundial, convencional ou orgânica, para buscar uma produção de alimento cada vez mais saudável, sustentável e uma agricultura mais tecnológica e acessível para os agricultores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBOTT, L. K., MACDONALD, L. M., WONG, M. T. F., WEBB, M. J., JENKINS, S. N., & FARRELL, M. Potential roles of biological amendments for profitable grain production – A review. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 256, p. 34-50, 2018.

ADEKIYA, A.O.; AGBEDE, T.M. Effect of methods and time of poultry manure application on soil and leaf nutrient concentrations, growth and fruit yield of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill). **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v.16, p. 383-388, 2016.

ADENIJI, A.A.; LOOTS, D.T.; BABALOLA, O.O. *Bacillus velezensis*: phylogeny, useful applications, and avenues for exploitation. **Appl Microbiol Biotechnol**, v. 103, p. 3669–3682, 2019.

ALAM, M.Z., BRAUN, G., NORRIE, J., AND HODGES, D.M. Ascophyllum extract application can promote plant growth and root yield in carrot associated with increased rootzone soil microbial activity. **Can J Plant Sci**, v. 94, p. 337–348, 2014.

ALAM, M.Z., BRAUN, G., NORRIE, J., AND HODGES, D.M. Effect of ascophyllum extract application on plant growth, fruit yield and soil microbial communities of strawberry. **Can J Plant Sci**, v. 93, p. 23–36, 2013.

ALI, N., FARRELL, A., RAMSUBHAG, A., JAYARAMAN, J. The effect of *Ascophyllum nodosum* extract on the growth, yield and fruit quality of tomato grown under tropical conditions. **J Appl Phycol** v. 28, p.1353–1362, 2016.

ALI, O., RAMSUBHAG, A., JAYARAMAN, J. Biostimulatory activities of *Ascophyllum nodosum* extract in tomato and sweet pepper crops in a tropical environment. **PLoS ONE** v. 14, n. 5, e0216710, 2019.

ALI, O.; RAMSUBHAG, A.; JAYARAMAN, J. *Ascophyllum nodosum* (Linnaeus) Le Jolis seaweed extract improves seed germination in tomato and sweet pepper under NaCl-induced salt stress. **Tropical Agriculture**, v. 95, p. 141-148, 2018.

ALI, O.; RAMSUBHAG, A.; JAYARAMAN, J. Biostimulant Properties of Seaweed Extracts in Plants: Implications towards Sustainable Crop Production. **Plants**, v. 10, n. 3, p. 531, 2021.

ALMEIDA, M. M. T. B. Fertilizantes de leguminosas: autossuficiência de nitrogênio em sistemas orgânicos de produção. 2012. 145 p. **Tese** (Doutorado em Fitotecnia). Instituto de Agronomia, Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2012.

ALVARENGA, M. A. R.; COELHO, F. S. Valor nutricional In: ALVARENGA, M. A. R. **Tomate**: produção em campo, em casa de vegetação e hidroponia. 2. ed. rev. e ampl. Lavras, MG: Editora Universitária de Lavras, 2013. cap. 2, p. 23-30

ALVAREZ, A. L.; WEYERS, S. L.; GOEMANN, H. M.; PEYTON, B. M.; GARDNER, R. D. Microalgae, soil and plants: A critical review of microalgae as renewable resources for agriculture. **Algal Res**, v. 54, n. 102200, 2021.

ANDRADE-SIFUENTES, A.; FORTIS-HERNÁNDEZ, M.; PRECIADO-RANGEL, P.; OROZCO-VIDAL, J.A.; YESCAS-CORONADO, P.; RUEDA-PUENTE, E.O. Azospirillum brasilense and Solarized Manure on the Production and Phytochemical Quality of Tomato Fruits (*Solanum lycopersicum* L.). **Agronomy**, v. 10, n. 12, 2020.

ANSARI, M. H. et al. The role of Pseudomonas strains and arbuscular mycorrhiza fungi as organic phosphate-solubilizing in the yield and quality improvement of strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch., cv. Selva) fruit. **Acta Scientiarum Polonorum - Hortorum Cultus**, v. 17, n. 4, p. 93–107, 2018.

AOAC. **Official methods of the Association of the Agricultural Chemists** (15th ed.). Washington, 2000.

ASGARI-TARGHI, G.; IRANBAKHSH, A.; ARDEBILI, Z. O. Potential benefits and phytotoxicity of bulk and nano-chitosan on the growth, morphogenesis, physiology, and micropropagation of *Capsicum annuum*. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 127, p. 393-402, 2018.

AUGÉ, R. M.; TOLER, H. D.; SAXTON, A. M. Arbuscular mycorrhizal symbiosis alters stomatal conductance of host plants more under drought than under amply watered conditions: a meta-analysis. **Mycorrhiza**, v. 25, n. 1, p. 13–24, 1 jan. 2015.

BARANKEVICZ G. B.; NOVELLO D.; RESENDE J. T. V.; SCHWARZ K.; SANTOS E. F. Características físicas e químicas da polpa de híbridos de tomateiro, durante o armazenamento congelado. **Horticultura Brasileira**, v. 33, n. 1, p. 7-11, 2015.

BARONE, V.; BAGLIERI, A.; STEVANATO, P. et al. Root morphological and molecular responses induced by microalgae extracts in sugar beet (*Beta vulgaris* L.). **J Appl Phycol**, v. 30, p. 1061-1071, 2018.

BASILE, B.; ROUPHAEL, Y.; COLLA, G.; SOPPELSA, S.; ANDREOTTI, C. Appraisal of emerging crop management opportunities in fruit trees, grapevines and berry crops facilitated by the application of biostimulants. **Scientia Horticulturae**, v. 267, p. 109330, 2020.

BAUM, C.; EL-TOHAMY, W.; GRUDA, N. Increasing the productivity and product quality of vegetable crops using arbuscular mycorrhizal fungi: A review. **Scientia Horticulturae**, v. 187, p. 131–141, maio 2015.

BEGUM, N. et al. Role of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Plant Growth Regulation: Implications in Abiotic Stress Tolerance. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, 2019.

BEN SALAH, I.; AGHROUSS. S.; DOUIRA, A.; AISSAM, S.; EL ALAOUI-TALIBI, Z.; FILALI-MALTOUF, A.; EL MODAFAR, C. Seaweed polysaccharides as bio-elicitors of natural defenses in olive trees against verticillium wilt of olive. **J Plant Interact**, v. 13, n. 1, p. 248–255, 2018.

BENHAMOU, N.; REY, P. Stimulators of natural plant defenses: a new phytosanitary strategy in the context of sustainable ecoproduction: II. Interest of the SND in crop protection. **Phytoprotection**, v. 92, p. 24–35, 2012.

BHARDWAJ, D.; ANSARI, M.W.; SAHOO, R.K.; TUTEJA, N. Biofertilizers function as key player in sustainable agriculture by improving soil fertility, plant tolerance and crop productivity. **Microb Cell Factories**, v. 13, n. 66, 2014.

BOAMAH, P.O., ONUMAH, J., ADUGUBA, W.O., SANTO, K.G. Application of depolymerized chitosan in crop production: A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 235, n. 123858, 2023.

BONA, E. et al. Arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth-promoting pseudomonads improve yield, quality and nutritional value of tomato: a field study. **Mycorrhiza**, v. 27, n. 1, p. 1–11, jan. 2017.

BONA, E. et al. Combined bacterial and mycorrhizal inocula improve tomato quality at reduced fertilization. **Scientia Horticulturae**, v. 234, p. 160–165, abr. 2018.

BOWLES, T. M. et al. Effects of arbuscular mycorrhizae on tomato yield, nutrient uptake, water relations, and soil carbon dynamics under deficit irrigation in field conditions. **Science of The Total Environment**, v. 566–567, p. 1223–1234, out. 2016.

BRANDÃO-FILHO et al. **Hortalças-fruto**. Maringá: Eduem, 2018. 535 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Portaria n.º 52, de 15 de março de 2021. Estabelece o regulamento técnico para os sistemas orgânicos de produção e as listas de substâncias e práticas para uso nos sistemas orgânicos de produção. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 23 mar. 2021, Ed. 55, Seção 1, p. 10-73.

CARILLO, P. et al. Biostimulatory Action of Arbuscular Mycorrhizal Fungi Enhances Productivity, Functional and Sensory Quality in 'Piennolo del Vesuvio' Cherry Tomato Landraces. **Agronomy**, v. 10, n. 6, jun. 2020.

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

CHANTHINI, K.M.P.; STANLEY-RAJA, V.; THANIGAIVEL, A.; KARTHI, S.; PALANIKANI, R.; SHYAMSUNDAR, N.; SIVANESH, H.; SORANAM, R.; SENTHIL-NATHAN, S. Sustainable agronomic strategies for enhancing the yield and nutritional quality of wild tomato, *Solanum Lycopersicum* (L.) var 'Cerasiforme Mill'. **Agronomy**, v. 9, n. 6, p. 311, 2019.

CHEN, M.; ARATO, M.; BORGHI, L.; NOURI, E.; REINHARDT, D. Beneficial Services of Arbuscular Mycorrhizal Fungi – From Ecology to Application. **Frontiers in Plant Science**. v. 9, p. 1-14, 2018.

CHENG, W.; PARTON, W. J.; GONZALEZ-MELER, M. A.; PHILLIPS, R.; ASAO, S.; MCNICKLE, G. G.; BRZOSTEK, E.; JASTROW, J. D. Synthesis and modeling perspectives of rhizosphere priming. **New Phytologist**, v. 201, p. 31-44, 2014.

COHEN, A.C.; BOTTINI, R.; PONTIN, M.; BERLI, F.J.; MORENO, D.; BOCCANLANDRO, H.; TRAVAGLIA, C.N.; PICCOLI, P.N. Azospirillum brasilense ameliorates the response of Arabidopsis thaliana to drought mainly via enhancement of ABA levels. **Physiol Plant**, v. 153, p. 79–90, 2015.

COLLA, G.; ROUPHAEL, Y. Microalgae: New Source of Plant Biostimulants. **Agronomy**, v. 10, n. 9, p. 1240, 2020.

COLMAN, S.L., SALCEDO, M.F., FORESI, N.P., IGLESIAS, M. J., ALVAREZ, V. A., CASALONGUÉ, C. A. Chitosan Microparticles Mitigate N Deficiency in Tomato Plants. **Agricultural Soil Science eJournal**, p. 1-18, 2022.

COLMAN, S.L., SALCEDO, M.L., MANSILLA, A.Y., IGLESIAS, M.J., FIOL, D.F., MARTÍN-SALDAÑA, S., ALVAREZ, V.A., CHEVALIER, A.A., CASALONGUÉ, C.A. Chitosan microparticles improve tomato seedling biomass and modulate hormonal, redox and defense pathways. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 143, p. 203-211, 2019.

CRAIGIE, J.S. Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture. **J Appl Phycol**, v. 23, p.371–393, 2011.

CREWS T. E.; PEOPLES M. B. Legume versus fertilizer sources of nitrogen: ecological tradeoffs and human needs. **Agriculture Ecosystems Environmental**, v. 102, p. 279-297, 2004.

DI VITTORI, L.; MAZZONI, L.; BATTINO, M.; MEZZETTI, B. Pre-harvest factors influencing the quality of berries. **Scientia Horticulturae**, v. 233, p. 310-322, 2018.

DIAS, G. A.; ROCHA, R. H. C.; ARAÚJO, J. L.; LIMA, J. F.; GUEDES, W. A. Crescimento, produção e qualidade pós-colheita de berinjela produzida sob adubação foliar com Spirulina platensis. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 37, n. 6, p. 3893-3902, 2016.

DIJKSTRA, F.A.; CARRILLO, Y.; PENDALL, E.; MORGAN, J.A. Rhizosphere priming: a nutrient perspective. *Frontiers in Microbiology*, [s.l.], v. 4, p. 216, 2013.

DOBBELAERE, S.; CROONENBORGH, A.; THYS, A.; PTACEK, D.; OKON, Y.; VANDERLEYDEN, J. Effect of inoculation with wild type Azospirillum brasilense and A. irakense strains on development and nitrogen uptake of spring wheat and grain maize. **Biol Fertil Soil**, v. 36, p. 284–297, 2002.

DU JARDIN, P. Plant Biostimulants: Definition, Concept, Main Categories and Regulation. **Sci. Hortic. (Amst.)**, v. 53, p. 3555-3654, 2015.

DUARTE, C.F.D.; CECATO, U.; BISERRA, T.T.; MAMÉDIO, D.; GALBEIRO, S. Azospirillum spp. in grasses and forages. Review. **RevMexCiencPecu**, v.11, p. 223-240, 2018.

EMBUSCADO, M. E. Spices and herbs: Natural sources of antioxidants – a mini review. **Journal of Functional Foods, Natural Antioxidants**. v. 18, p. 811–819, 1 out. 2015.

EMMANUEL, O. C.; BABALOLA, O. O. Productivity and quality of horticultural crops through co-inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth promoting bacteria. **Microbiological Research**, v. 239, 2020.

FADIA, A., IBTISSAM, L., ANASS, W. et al. Comparison of the effect of two categories of *Arthrospira platensis* polysaccharides (exo and endopolysaccharides) on tomato growth: Effect on morphological, histological and biochemical plant growth traits. **J Appl Phycol**, v. 35, n. 2, 2023.

FAN, B.; WANG, C.; SONG, X.; DING, X.; WU, L.; WU, H.; GAO, X.; BORRIS, R. *Bacillus velezensis* FZB42 in 2018: the Gram-positive model strain for plant growth promotion and biocontrol. **Front. Microbiol**, v. 9, p. 2941, 2018

FAO. **Fao alerta para contaminação da água por práticas agrícolas insustentáveis no mundo**. 2018. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/fao-alerta-para-contaminacao-da-agua-praticas-agricolas-insustentaveis-mundo>. Acesso em: 18 jul. 2019.

FAO. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. Faostat. 2020. Disponível em: <www.faostat.fao.org>. Acesso em: 21 de dezembro de 2021.

FAO. Guidelines for the production, processing, labelling and marketing of organically produced foods. rev. amp. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations/World Health Organization, 2010. (**Codex Alimentarius**. CAC/GL, 32).

FAOSTAT - **Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)** Statistics Division, 2016. Disponível em: <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E>. Acesso em: 14 jul. 2020.

FAOSTAT - **Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)** Statistics Division 2022. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. Acesso em: 18 jul. 2023.

FERREIRA, A.; MELKONYAN, L.; CARAPINHA, S.; RIBEIRO, B.; FIGUEIREDO, D.; AVETISOVA, G.; GOUVEIA, L. Biostimulant and biopesticide potential of microalgae growing in piggery wastewater. **Environmental Advances**, v. 4, n. 100062, 2021.

FITZSIMONS, M.S.; MILLER, R.M. The importance of soil microorganisms for maintaining diverse plant communities in tallgrass prairie. **American Journal of Botany**, v. 97 p. 1937-1943, 2010.

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.

FRENEY, J. R.; MARTINELLI, L. A.; SEITZINGER, S. P.; SUTTON, M. A. Transformation of the nitrogen cycle: recent trends, questions, and potential solutions. **Science**, v. 320, p. 889-892, 2008.

FUKAMI, J.; DE LA OSA, C.; OLLERO, F.J.; MEGÍAS, M.; HUNGRIA, M. Co-inoculation of maize with *Azospirillum brasilense* and *Rhizobium tropici* as a strategy to mitigate salinity stress. **Functional Plant Biology**, v. 45, p. 328-339, 2018.

GALKOVSKYI, T., MILEYKO, Y., BUCKSCH, A., MOORE, B., SYMONOVA, O., PRICE, C. A., WEITZ, J. S. GiA Roots: software for the high throughput analysis of plant root system architecture. **BMC plant biology**, v. 12, n. 1, p. 1-12, 2012.

GALLOWAY, J.N.; DENTENER, F.J.; CAPONE, D. G.; BOYER, E. W.; HOWARTH, R.W.; SEITZINGER, S. P.; ASNER, G. P.; CLEVELAND, C. C.; GREEN, P. A.; HOLLAND, E. A.; KARL, D. M.; MICHAELS, A. F.; PORTER, J. H.; TOWNSEND, A. R.; VÖRÖSMARTY, C. J. Nitrogen cycles: past, present, and future. **Biogeochemistry**, v. 70, p. 153-226, 2004.

GARCIA-GONZALEZ, J.; SOMMERFELD, M. Biofertilizer and biostimulant properties of the microalga *Acutodesmus dimorphus*. **J Appl Phycol**, v. 28, p. 1051-1061, 2016.

GASHASH, E.A.; OSMAN, N.A.; ALSAHLI, A.A.; HEWAIT, H.M.; ASHMAWI, A.E.; ALSHALLASH, K.S.; EL-TAHER, A.M.; AZAB, E.S.; ABD EL-RAOUF, H.S.; IBRAHIM, M.F.M. Effects of Plant-Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) and Cyanobacteria on Botanical Characteristics of Tomato (*Solanum lycopersicon* L.) Plants. **Plants**, v. 11, p. 2732, 2022.

GENRE, A.; CHABAUD, M.; FACCIO, A.; BARKER, D. G.; BONFANTE, P. Prepenetration apparatus assembly precedes and predicts the colonization patterns of arbuscular mycorrhizal fungi within the root cortex of both *Medicago truncatula* and *Daucus carota*. **Plant Cell**, v. 20, p. 1407–1420, 2008.

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.

GLICK, B.R. Plant Growth-Promoting Bacteria: Mechanisms and Applications. **Scientifica**, v. 2012, p. 1-15, 2012.

GLIESSMAN, S. R. **Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável**. 2.ed. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001. 653p.

GONZÁLEZ-GONZÁLEZ, M.F., OCAMPO-ALVAREZ, H., SANTACRUZ-RUVALCABA, F., SÁNCHEZ-HERNÁNDEZ, C.V., CASARRUBIAS-CASTILLO, K., BECERRIL-ESPINOSA, A., CASTAÑEDA-NAVA, J.J., HERNÁNDEZ-HERRERA, R.M. Physiological, Ecological, and Biochemical Implications in Tomato Plants of Two

Plant Biostimulants: Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Seaweed Extract. **Front. Plant Sci.**, v. 11, p. 999, 2020.

GONZÁLEZ-PÉREZ, B.K., RIVAS-CASTILLO, A.M., VALDEZ-CALDERÓN, A. ET AL. Microalgae as biostimulants: a new approach in agriculture. **World J Microbiol Biotechnol**, v. 38, n. 4, 2022.

GÓRKA, B.; WIECZOREK, P.P. Simultaneous determination of nine phytohormones in seaweed and algae extracts by HPLC-PDA. **J. Chromatogr. B Anal. Technol. Biomed. Life Sci.**, v. 1057, p. 32-39, 2017.

GUEDES, W. A., ARAÚJO, R. H. C. R., ROCHA, J. L. A., LIMA, J. F. DE, DIAS, G. A., OLIVEIRA, ÁGDA M. F. DE, LIMA, R. F. DE, OLIVEIRA, L. M. Production of Papaya Seedlings Using *Spirulina platensis* as a Biostimulant Applied on Leaf and Root. **Journal of Experimental Agriculture International**, v. 28, n. 1, p. 1-9, 2018.

HAFEEZ, B.; KHANIF, Y. M.; SALEEM, M. Role of zinc in plant nutrition – a review. **American Journal of Experimental Agriculture**, v. 3, p. 374-391, 2013.

HATA, F.T.; DA SILVA, D.C.; YASSUNAKA-HATA, N.N.; DE QUEIROZ CANCIAN, M.A.; SANCHES, I.A.; POÇAS, C.E.P.; VENTURA, M.U.; SPINOSA, W.A.; MACEDO, R.B. Leafy Vegetables' Agronomic Variables, Nitrate, and Bioactive Compounds Have Different Responses to Bokashi, Mineral Fertilization, and Boiled Chicken Manure. *Horticulturae*, v. 9, p. 194, 2023.

HOWARTH, R. W. Coastal nitrogen pollution: a review of sources and trends globally and regionally. **Harmful Algae**, v. 8, p. 14-20, 2008.

HRISTOZKOVA, M. et al. Mycorrhizal fungi and microalgae modulate antioxidant capacity of basil plants. **Journal of Plant Protection Research**, v. 57, n. 4, 2017

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M.A.; ARAUJO, R.S. Inoculation of *Brachiaria* spp. with the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum brasilense*: An environment-friendly component in the reclamation of degraded pastures in the tropics. **Agr Ecosyst Environ**, v. 221, p. 125-131, 2016.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola Safra 2019. 2021. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6588>>. Acesso em: 18 jul. 2021.

IGLESIAS, M. J.; COLMAN, S. L.; TERRILE, M. C.; PARÍS, R.; MARTÍN-SALDAÑA, S.; CHEVALIER, A. A.; ÁLVAREZ, V. A.; CASALONGUÉ, C. A. Enhanced Properties of Chitosan Microparticles over Bulk Chitosan on the Modulation of the Auxin Signaling Pathway with Beneficial Impacts on Root Architecture in Plants. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 67, n. 25, p. 6911-6920, 2019.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2007: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING, M.; CHEN, Z.; MARQUIS, M.; AVERYT, K. B.; TIGNOR, M.; MILLER, H. L. (Ed.)]. Cambridge/New York: Cambridge University Press, 2007. 996 p.

JORGE, M. F. et al. Physicochemical characteristics, antioxidant capacity and phenolic compounds of tomatoes fertigated with different nitrogen rates. **Revista Caatinga**, v. 30, n. 1, p. 237–243, mar. 2017.

KAPUR, B.; SARIDA, S, M.A.; ÇELIKTOPUZ, E.; KAFKAS, E.; PAYDA, S KARGI, S. Health and Taste Related Compounds in Strawberries under Various Irrigation Regimes and Bio-Stimulant Application. **Food Chem.** 2018

KATSENIOS, N. et al. Evaluation of Plant Growth Promoting Bacteria Strains on Growth, Yield and Quality of Industrial Tomato. **Microorganisms**, v. 9, p. 2099, 2021.
KHAN, W.; RAYIRATH, U. P.; SUBRAMANIAN, S.; JITHESH, M. N.; RAYORATH, P.; HODGES, D. 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, n. 4, p. 386-399, 2009.

KIRKBY, E. Introduction, definition and classification of nutrients. In: MARSCHNER, P. (Ed.). **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. 3. ed. San Diego: Elsevier, 2012.

KUMARASWAMY, R. V.; KUMARI, S.; CHOUDHARY, R. C.; PAL, A.; RALIYA, R.; BISWAS, P.; SAHARAN, V. Engineered chitosan-based nanomaterials: bioactivities, mechanisms and perspectives in plant protection and growth. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 113, p. 494-506, 2018.

KUZYAKOV, Y.; XU, X. Competition between roots and microorganisms for nitrogen: mechanisms and ecological relevance. **New Phytologist**, v. 198, n. 3, p. 656-669, 2013.

LEE, E. H.; EO, J. K.; KA, K. H.; EOM, A. H. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi and their roles in ecosystems. **Mycobiology**, v. 41, p. 121–125, 2013.

KONG, L.; GONG, X.; ZHANG, X.; ZHANG, W.; SUN, J.; CHEN, B. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on photosynthesis, ion balance of tomato plants under saline-alkali soil condition. **Journal of Plant Nutrition**, v. 43, n. 5, p. 682-698, 2020.

LI, Y.; MATTSON, N. S. Effects of Seaweed Extract Application Rate and Method on Post-Production Life of Petunia and Tomato Transplants. **HortTechnology**, v. 25, n. 4, p. 505-510, 2015.

LIMA, N. S. A.; VOGEL, G. F.; FEY, R. Rates of application of *Azospirillum brasilense* in tomato crop. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 5, n. 4, p. 81-87, 2018.

LIN, D.; WEI, R.; XU, L. An Integrated Yield Prediction Model for Greenhouse Tomato. **Agronomy**, v. 9, n. 873, 2019.

LOPEZ-MOYA, F.; ESCUDERO, N.; ZAVALA-GONZALEZ, E. A.; ESTEVE-BRUNA, D.; BLÁZQUEZ, M. A.; ALABADÍ, D.; LOPEZ-LLORCA, L. V. Induction of auxin biosynthesis and WOX5 repression mediate changes in root development in *Arabidopsis* exposed to chitosan. **Scientific Reports**, v. 7, n. 16813, 2017.

- MAHMOOD, N.; ABBASI, N. A.; HAFIZ, I. A.; ALI, I.; ZAKIA, S. Effect of biostimulants on growth, yield and quality of bell pepper cv. Yolo wonder. **Pakistan Journal of Agricultural Sciences**, v. 54, n. 2, p. 311-317, 2017.
- MALERBA, M.; CERANA, R. Recent advances of chitosan applications in plants. *Polymers*, v. 10, n. 2, p. 118, 2018.
- MANNINO, G.; CAMPOBENEDETTO, C.; VIGLIANTE, I.; CONTARTESE, V.; GENTILE, C.; BERTEA, C. M. The Application of a Plant Biostimulant Based on Seaweed and Yeast Extract Improved Tomato Fruit Development and Quality. *Biomolecules*, v. 10, n. 11, p. 1662, 2020.
- MARTÍNEZ-DAMIÁN, M.T.; CANO-HERNÁNDEZ, R.; MORENO-PÉREZ, E.C.; SÁNCHEZ-DEL CASTILLO, F.; CRUZ-ÁLVAREZ, O. Effect of preharvest growth bioregulators on physicochemical quality of saladette tomato. **Rev. Chapingo Ser. Hortic**, v. 25, p. 29–43. 2019
- MARTINI, F.; BEGHINI, G.; ZANIN, L.; VARANINI, Z.; ZAMBONI, A.; BALLOTTARI, M. O potencial uso de *Chlamydomonas reinhardtii* e *Chlorella sorokiniana* como biestimulantes em plantas de milho. **Algal Research**, v. 60, p. 102515, 2021.
- MBUTHIA, L.W.; ACOSTA-MARTINEZ, V.; DEBRUYN, J.; SCHAEFFER, S.; TYLER, D.; ODOI, E.; MPHESHEA, M.; WALKER, F.; EASH, N. Long term tillage, cover crop, and fertilization effects on microbial community structure, activity: implications for soil quality. **Soil Biol. Biochem.** v. 89, p. 24–34, 2015.
- MCCOY, S. Organic agriculture: strategic opportunities for Western Australia. **rev. Western Australia**: Department of Agriculture, 2006. 23 p. (Department of Agriculture. Bulletin, 4622).
- MEHNAZ, S. Azospirillum: a biofertilizer for every crop. In: ARORA, N.K. (ed.). **Plant microbes symbiosis: Applied facets**. 1. Ed. India: Springer India, 2015. p. 297-314.
- MIRBOLOOK, A.; RASOULI-SADAGHIANI, M.; SEPEHR, E. et al. Synthesized Zn(II)-Amino Acid and -Chitosan Chelates to Increase Zn Uptake by Bean (*Phaseolus vulgaris*) Plants. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 40, n. 2, p. 831-847, 2021.
- MUKHERJEE, A.; PATEL, J.S. Seaweed extract: biostimulator of plant defense and plant productivity. **Int. J. Environ. Sci. Technol**, v. 17, p. 553–558, 2020.
- MUTALE-JOAN, C.; REDOUANE, B.; NAJIB, E. et al. Screening of microalgae liquid extracts for their bio stimulant properties on plant growth, nutrient uptake and metabolite profile of *Solanum lycopersicum* L. **Scientific Reports**, v. 10, n. 2820, 2020.
- 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.

NANJUNDAPPA, A. et al. Interaction between arbuscular mycorrhizal fungi and *Bacillus* spp. in soil enhancing growth of crop plants. **Fungal Biology and Biotechnology**, v. 6, n. 1, p. 23, 28 nov. 2019.

NITSCHKE, P. R. et al. **Atlas Climático do Estado do Paraná**. Londrina, PR: IAPAR, 2019. Disponível em: < <https://www.idrparana.pr.gov.br/Pagina/Atlas-Climatico>>

OLANREWAJU, O.S.; GLICK, B.R.; BABALOLA, O.O. Mechanisms of action of plant growth promoting bacteria. **World J Microbiol Biotechnol** v. 33, p. 197, 2017.

OLIVEIRA, A. J. M. et al. Ácido húmico como indutor de crescimento de mudas de batata-doce Brazlândia Branca. **Cadernos de Agroecologia**, v. 15, n. 2, 2020.

OUYANG, Y.; REEVE, J.R.; NORTON, J.M. Soil enzyme activities and abundance of microbial functional genes involved in nitrogen transformations in an organic farming system. **Biology and Fertility of Soils**, v. 54, p. 437-450, 2018.

PARAĐIKOVIĆ, N.; TEKLIĆ, T.; ZELJKOVIĆ, S.; LISJAK, M.; ŠPOLJAREVIĆ, M. Biostimulants research in some horticultural plant species - A review. *Food and Energy Security*, v. 8, e00162, 2019.

PÉRES-RODRIGUEZ, M.M.; PONTIN, M.; BOTTINI, R. et al. *Pseudomonas fluorescens* and *Azospirillum brasilense* Increase Yield and Fruit Quality of Tomato Under Field Conditions. **Soil Sci Plant Nutr**, v. 20, p. 1614-1624, 2020.

PLAZA, B. M.; GÓMEZ-SERRANO, C.; ACIÉN-FERNÁNDEZ, F. G. et al. Effect of microalgae hydrolysate foliar application (*Arthrospira platensis* and *Scenedesmus* sp.) on *Petunia x hybrida* growth. **Journal of Applied Phycology**, v. 30, n. 4, p. 2359-2365, 2018.

PORCEL, R.; AROCA, R.; RUIZ-LOZANO, J. M. Salinity stress alleviation using arbuscular mycorrhizal fungi. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 32, n. 1, p. 181–200, 1 jan. 2012.

RAHMAN, K.M.; ZHANG, D. Effects of fertilizer broadcasting on the excessive use of inorganic fertilizers and environmental sustainability. **Sustainability**, v. 10, n. 759, 2018.

RAHMAN, M.; MUKTA, J. A.; SABIR, A. A. et al. Chitosan biopolymer promotes yield and stimulates accumulation of antioxidants in strawberry fruit. **PLoS ONE**, v. 13, n. 9, 2018.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres, Potafos, 1991. 343p.

REEVE, J.R.; HOAGLAND, L.A.; VILLALBA, J.J. et al. Organic farming, soil health, and food quality: considering possible links. **Adv Agron**, v. 137, p. 319-367, 2016.

REEVES, W.R.; MCGUIRE, M.K.; STOKES, M.; VICINI, J.L. Assessing the safety of pesticides in food: how current regulations protect human health. **Adv. Nutr.** v. 10, p. 80–88, 2019.

REIS, V.M.; BALDINI, J.I.; BALDINI, V.L.D.; DOBEREINER, J. Biological dinitrogen fixation in gramineae and palm Trees. **Plant Sci**, v. 19, p. 227-247, 2000.

RENAUT, S.; MASSE, J.; NORRIE, J.P.; BLAL, B.; HIJRI, M. A commercial seaweed extract structured microbial communities associated with tomato and pepper roots and significantly increased crop yield. **Microbial Biotechnology**, v. 12, n. 6, p. 1346–1358, 2019.

RICE, K.C.; HERMAN, J. S. Acidification of earth: an assessment across mechanisms and scales. **Applied Geochemistry**, v. 27, p. 1-14, 2012.

RIOUX, L.E.; TURGEON, S.L.; BEAULIEU, M. Characterization of polysaccharides extracted from brown seaweeds. **Carbohydr Polym**, v. 69, p. 530–537, 2007.

RODRIGUES, M.; BAPTISTELLA, J. L. C.; HORZ, D. C.; BORTOLATO, L. M.; MAZZAFERA, P. Organic Plant Biostimulants and Fruit Quality - A Review. **Agronomy**, v. 10, n. 7, p. 988, 2020.

ROLNIK, A.; OLAS, B. The plants of the Asteraceae Family as agents in the protection of human health. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 22, n. 6, p. 3009, 2021.

RONGA, D.; BIAZZI, E.; PARATI, K.; CARMINATI, D.; CARMINATI, E.; TAVA, A. Microalgal biostimulants and biofertilisers in crop productions. **Agronomy**, v. 9, n. 4, p. 192, 2019.

ROUPHAEL, Y.; COLLA, G. Editorial: Biostimulants in Agriculture. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, p. 40, 2020b.

ROUPHAEL, Y.; COLLA, G. Toward a Sustainable Agriculture Through Plant Biostimulants: From Experimental Data to Practical Applications. **Agronomy**, v. 10, n. 9, p. 1268, 2020a.

ROUPHAEL, Y.; COLLA, G.; GRAZIANI, G.; RITIENI, A.; CARDARELLI, M.; DE PASCALE, S. Phenolic composition, antioxidant activity and mineral profile in two seed-propagated artichoke cultivars as affected by microbial inoculants and planting time. **Food Chem.**, v. 234, p. 10-19, 2017.

ROUPHAEL, Y.; LUCINI, L.; MIRAS-MORENO, B.; COLLA, G.; BONINI, P.; CARDARELLI, M. Metabolomic Responses of Maize Shoots and Roots Elicited by Combinatorial Seed Treatments With Microbial and Non-microbial Biostimulants. **Front. Microbiol.** 2020

RUIZ-GARCÍA, C.; BÉJAR, V.; MARTÍNEZ-CHECA, F.; LLAMAS, I.; QUESADA, E. *Bacillus velezensis* sp. nov., a surfactant producing bacterium isolated from the river Vélez in Málaga, southern Spain. **Int. J. Syst. Evol. Microbiol.** v. 55, p. 191–195, 2005.

FONTAINE, S., HENault, C., AAMOR, A., BDIoui, N., BLOOR, J.M.G., MAIRE, V., MARY, B., REVAILLot, S., MARON, P.A. Fungi mediate long term sequestration of carbon and nitrogen in soil through their priming effect. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 43, n. 1, p. 86-96, 2011.

SALEH, A. M. et al. Global metabolic changes induced by arbuscular mycorrhizal fungi in oregano plants grown under ambient and elevated levels of atmospheric CO₂. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 151, p. 255–263, jun. 2020.

SALOMON, M.V.; BOTTINI, R.; DE SOUZA FILHO, G.A.; COHEN, A.C.; MORENO, D.; GIL, M.; PICCOLI, P. Bacteria isolated from roots and rhizosphere of *Vitis vinifera* retard water losses, induce abscisic acid accumulation and synthesis of defense-related terpenes in in vitro cultured grapevine. **Physiol Plant** v. 151, p. 359–374, 2014.

SAVARY, R.; MASCLAUX, F. G.; WYSS, T.; DROH, G.; CORELLA, J. C.; MACHADO, A. P. et al. A population genomics approach shows widespread geographical distribution of cryptic genomic forms of the symbiotic fungus *Rhizophagus irregularis*. **ISME J.** v. 12, p. 17–30, 2018.

SCHMITZ, R.; MAGRO, C.D.; COLLA, L.M. Aplicações ambientais de microalgas. **Rev. CIATEC–UPF**, v. 4, p. 48-60, 2012.

SHAHZAD, T., CHENU, C., GENET, P., BAROT, S., PERVEEN, N., MOUGIN, C., FONTAINE, S. Contribution of exudates, arbuscular mycorrhizal fungi and litter depositions to the priming effect induced by grassland species. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 80, p. 146–155, 2015.

SHARMA, H.S.; FLEMING, C.; SELBY, C.; RAO, J.R.; MARTIN, T. Plant biostimulants: a review on the processing of macroalgae and use of extracts for crop management to reduce abiotic and biotic stresses. **J Appl Phycol**, v. 26, n. 1, p. 465–490, 2014.

SIVASAKTHIVELAN, P.; SARANRAJ, P. Azospirillum and its Formulations: A Review. **Intl. J. Microbiol. Res**, v. 4, n. 3, p. 275-287, 2013.

SMIL, V. Detonator of the population explosion. **Nature**, v. 400, p. 415, 1999. 143

SMIL, V. Enriching the earth: Fritz Haber, Carl Bosch, and the transformation of world food production. Cambridge: **MIT Press**, 2004. 358 p.

SOLDATELI, F.J.; BATISTA, C.B.; GODOY, F.; MELLO, C.M.; SOARES, F.S.; BERGMANN, M.D.; ETHUR, L.Z. Crescimento e produtividade de cultivares de tomate utilizando substratos de base ecológica. **Colloquium Agrariae**, v. 16, n.1, p. 1-10, 2019.

SONG, Y. et al. Enhanced tomato disease resistance primed by arbuscular mycorrhizal fungus. **Frontiers in Plant Science**, v. 6, 2015.

SPATAFORA, J. W.; CHANG, Y.; BENNY, G. L.; LAZARUS, K.; SMITH, M. E.; BERBEE, M. L. et al. A phylum-level phylogenetic classification of zygomycete fungi based on genome-scale data. **Mycologia**, v. 108, p. 1028–1046, 2016.

STIRK, W. A.; ÖRDÖG, V.; NOVÁK, O. et al. Auxin and cytokinin relationships in 24 microalgal strains. **J. Phycol.**, v. 49, p. 459-467, 2013.

SZCZAŁBA, M. et al. Comprehensive insight into arbuscular mycorrhizal fungi, *Trichoderma* spp. and plant multilevel interactions with emphasis on biostimulation of horticultural crops. **Journal of Applied Microbiology**, v. 127, n. 3, p. 630–647, 2019.

TARRAF, S.A.; TALAAT, I.M.; EL-SAYED, A.E.K.B.; BALBAA, L.K. Influence of foliar application of algae extract and amino acids mixture on fenugreek plants in sandy and clay soils. **Amino Acids**, v. 16, p. 19–58, 2015.

THIRKELL, T. J. et al. Are mycorrhizal fungi our sustainable saviours? Considerations for achieving food security. **Journal of Ecology**, v. 105, n. 4, p. 921–929, 2017.

TORRES, M.; LLAMAS, I.; TORRES, B.; TORAL, B.; SAMPEDRO, I.; BÉJAR, V. Growth promotion on horticultural crops and antifungal activity of *Bacillus velezensis* XT1. **Applied Soil Ecology**, v. 150, 2020.

TOWNSEND, A. R.; HOWARTH, R. W.; BAZZAZ, F. A.; BOOTH, M. S.; CLEVELAND, C. C.; COLLINGE, S. K.; DOBSON, A. P.; EPSTEIN, P. R.; HOLLAND, E. A.; KEENEY, D. R.; MALLIN, M. A.; ROGERS, C. A.; WAYNE, P.; WOLFE, A. H. Human health effects of a changing global nitrogen cycle. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 1, n. 5, p. 240-246, 2003.

VITOUSEK, P. M.; ABER, J. D.; HOWARTH, R. W.; LIKENS, G. E.; MATSON, P. A.; WANG, B.; QIU, Y. L. Phylogenetic distribution and evolution of mycorrhizas in land plants. **Mycorrhiza**, v. 16, p. 299–363, 2006.

WANG, X.X.; ZHAO, F.; ZHANG, G.; ZHANG, Y.; YANG, L. Vermicompost Improves Tomato Yield and Quality and the Biochemical Properties of Soils with Different Tomato Planting History in a Greenhouse Study. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, 2017.

WATTHIER, M., DA SILVA, M. A. S., SCHWENGBER, J. E., DA FONSECA, F. D., NOMBERG, A. Produção de mudas e cultivo a campo de beterraba em sistema orgânico de produção. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v.6, n.2, p.51-57, 2016.

WOODWARD, A. W.; BARTEL, B. Auxin: Regulation, action, and interaction. **Annals of Botany**, v. 95, p. 707-735, 2005.

YAGMUR, B., GUNES, A. Evaluation of the Effects of Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) on Yield and Quality Parameters of Tomato Plants in Organic Agriculture by Principal Component Analysis (PCA). **Gesunde Pflanzen**, v. 73, p. 219-228, 2021.

YAKHIN, O.I.; LUBYANOV, A.A.; YAKHIN, I.A.; BROWN, P.H. Biostimulants in plant science: a global perspective. **Front Plant Sci**, v. 7, 2017.

ZÁRATE, P. S. Taxonomic identity of *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit with a new combination. **Phytologia**, v. 63, p. 304-306, 1987.

ZECCHIN, V.J.S.; MÓGOR, A.F.; RUARO, L.; RODER, C. Crescimento de mudas de tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) estimulado pela bactéria *Bacillus amyloliquefaciens* subsp. *plantarum* FZB42 em cultura orgânica. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 38, p. 26-33, 2015.

ZHANG, L. et al. Arbuscular mycorrhizal fungi stimulate organic phosphate mobilization associated with changing bacterial community structure under field conditions. **Environmental Microbiology**, v. 20, n. 7, p. 2639–2651, 2018.

ZHU, Z.; GE, T.; LIU, S.; HU, Y.; YE, R.; XIAO, M.; TONG, C.; KUZYAKOV, Y.; WU, J. Rice rhizodeposits affect organic matter priming in paddy soil: The role of N fertilization and plant growth for enzyme activities, CO₂ and CH₄ emissions. *Soil Biology and Biochemistry* v. 116, p. 369–377, 2018.

ZODAPE, S.T., GUPTA, A., RAWAT, U.S., CHAUDHARY, D.R., ESWARAN, K., CHIKARA, J. Foliar application of seaweed *sao* as biostimulant for enhancement of yield and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). **J. Sci. Ind. Res.** 70, 215–219, 2011.