

**MATÉRIA ORGÂNICA COMO ELICITORA DE RESISTÊNCIA EM
PLANTAS: UMA META-ANÁLISE**

RAKIELY MARTINS DA SILVA

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE
DARCY RIBEIRO**

**CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
MARÇO – 2022**

MATÉRIA ORGÂNICA COMO ELICITORA DE RESISTÊNCIA EM PLANTAS: UMA META-ANÁLISE

RAKIELY MARTINS DA SILVA

Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestra em Produção Vegetal

Orientador: Prof. Luciano Pasqualoto Canellas

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
MARÇO – 2022

FICHA CATALOGRÁFICA

UENF - Bibliotecas

Elaborada com os dados fornecidos pela autora.

S586

Silva, Rakiely Martins da.

MATÉRIA ORGÂNICA COMO ELICITORA DE RESISTÊNCIA EM PLANTAS : UMA META-ANÁLISE
/ Rakiely Martins da Silva. - Campos dos Goytacazes, RJ, 2022.

86 f.

Bibliografia: 50 - 65.

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte
Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, 2022.

Orientador: Luciano Pasqualoto Canellas.

1. Agricultura ecológica. 2. Controle orgânico. 3. Estresses bióticos. I. Universidade
Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. II. Título.

CDD - 630

MATÉRIA ORGÂNICA COMO ELICITORA DE RESISTÊNCIA EM PLANTAS: UMA META-ANÁLISE

RAKIELY MARTINS DA SILVA

Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestra em Produção Vegetal

Examinada em 09 de março de 2022

Comissão Examinadora

Prof. Jader Galba Busato - UnB

Prof. Geraldo de Amaral Gravina - UENF

Pesq. Raul Castro Carrielo Rosa – Embrapa/Agrobiologia

Prof. Luciano Pasqualoto Canellas (PhD., Ciências do Solo) – UENF
(Orientador)

A Deus, que me deu vida e força;
Aos meus amados pais, Oliveira e Maria;
E minha querida irmã Rafaela.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela força, pela vida, me permitindo almejar os meus sonhos;

A Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal e ao Núcleo de Desenvolvimento de Insumos Biológicos para a Agricultura (NUDIBA) e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES, Brasil, Código de financiamento 001) pela oportunidade de realização do Mestrado;

Ao meu orientador Luciano Canellas, pela valiosa orientação e todo conhecimento transmitido, ao longo desses dois anos;

Aos Professores e Pesquisadores da banca, por contribuírem na melhoria do trabalho: Prof. Geraldo, Prof. Jader e Pesq. Raul;

Aos meus amados pais, Oliveira e Maria, por sempre estarem comigo, me apoiando e sendo minha maior fonte de inspiração, meus maiores exemplos de vida;

À minha irmã Rafaela, pelos puxões de orelha, pelo carinho e por tornar meus dias mais leves;

À minha irmã do coração Ana Paula e aos meus amados sobrinhos, Matheus, Ana Julia e Ana Beatriz, que fazem a vida da tia Raki sempre mais alegre;

Aos meus colegas de laboratório, em especial Daiane e Aline, pela amizade;

Aos amigos Tatiane Pimentel, Debora, Gabriela, Maycon, Ricardo, Marcela, Vanessa, Luan Valadares e Sandra, por tornarem meus dias mais leves por diversas vezes, sou muito grata a vocês!

A todos aqueles que de forma indireta fizeram parte deste sonho, toda minha gratidão!

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. HIPÓTESE E OBJETIVOS	8
3. MATERIAL E MÉTODOS	10
3.1 . Localização e caracterização da área de estudo	10
3.2 . Validação de dados.....	10
3.3 . Critérios para inclusão e exclusão de artigos.....	11
3.4 . Planilha de dados	11
3.5 . Análise de dados	12
4. RESULTADOS	14
5. DISCUSSÃO	32
5.1 . Principais fontes orgânicas usadas no controle de pragas e doenças	34
5.2 . Como a matéria orgânica atua na inibição de pragas e doenças?	36
5.3 . Relação das principais culturas e a eficácia das fontes orgânicas usadas no controle de pragas e doenças em plantas	39
5.4 . Uso de matéria orgânica na ativação de mecanismos de resistência sistêmica em plantas	41
5.5 . Papel das SH como eliciadores bióticos	45
5.6 . Conclusões	47
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	49
7. REFERÊNCIAS	50
8. ANEXOS.....	66

RESUMO

SILVA. Rakiely Martins, Engenheira Agrônoma. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Março de 2022. MATÉRIA ORGÂNICA COMO ELICITORA DE RESISTÊNCIA EM PLANTAS: UMA META-ANÁLISE. Orientador: Prof. Luciano Pasqualoto Canellas.

A agricultura contemporânea é caracterizada pelo uso intensivo de agrotóxicos e fertilizantes industriais para controlar pragas e doenças que causam danos às lavouras, eliminar a vegetação espontânea, fornecer nutrientes e, conseqüentemente, alcançar altas produtividades. O uso intensivo e indiscriminado dos agrotóxicos gera um conjunto de externalidades negativas bastante documentadas na literatura, tais como, eliminação de microrganismos benéficos e diminuição da resistência natural das plantas, tornando-as mais vulneráveis ao ataque de pragas e doenças, além de afetar a saúde humana e o meio ambiente. Dessa forma, a saúde do ambiente e das pessoas, bem como a sustentabilidade agrícola, dependem do desenvolvimento de estratégias que reduzam a necessidade do uso de agrotóxicos e aliviem os impactos deletérios associados ao seu uso. Nessa perspectiva, está inserida a agricultura de base ecológica, que visa produzir em quantidade e qualidade sem causar esgotamento dos recursos naturais. Muitos autores vêm retratando o uso da matéria orgânica como uma alternativa promissora para a diminuição do uso de agrotóxicos nas lavouras, atuando como um eliciador biótico. Com o objetivo de avaliar os estudos sobre o uso potencial da matéria orgânica e de suas frações como elicitores de resistência em plantas e comparar a eficácia de diferentes fontes orgânicas na redução ou inibição de doenças e pragas em plantas cultivadas, foi conduzida uma meta-análise de dados. Para isto, realizou-se uma seleção prévia de artigos e cada artigo foi analisado e incluído na meta-análise quando se enquadrava nos critérios preestabelecidos. Após a extração dos dados, foram realizadas análises estatísticas (*forest plot*) e multivariada (análise de componentes principais, ACP), utilizando os programas computacionais R e PC-ORD. Foram encontradas sete

fontes de matéria orgânica mais frequentemente utilizadas como eliciadores bióticos. No geral, todas apresentaram uma porcentagem de inibição de pragas e doenças eficiente em comparação com o controle e podem contribuir com a redução do uso de agrotóxicos. O maior efeito das fontes de matéria orgânica foi observado no controle de doenças, especialmente aquelas ocasionadas por fungos, apresentando efeito de controle médio de 75%. Para as pragas, o controle foi de 55%. A fonte de matéria orgânica com maior frequência nos estudos foi o vermicomposto, porém a que apresentou maior eficácia foram as substâncias húmicas (74% de eficácia em comparação com o controle), destacando-se no controle de doenças fúngicas e bacterianas. A concentração usada de substâncias húmicas variou de 1 a 500 mg L⁻¹, sendo as maiores concentrações aplicadas via solo. A concentração de 40 mg L⁻¹ apresentou maior eficácia (100%) no controle da infestação de nematoides em plantas de tomate. O estudo demonstrou o enorme potencial que a matéria orgânica possui para ser usada como elicitora de resistência em plantas, permitindo reduzir parcial ou totalmente o uso de agrotóxicos nas lavouras.

Palavras-chave: Agricultura ecológica; controle orgânico; estresses bióticos.

ABSTRACT

SILVA. Rakiely Martins, Universidade Estadual Do Norte Fluminense, Darcy Ribeiro. March, 2022. ORGANIC MATTER AS RESISTANCE ELICITORS IN PLANTS: A META-ANALYSIS. Advisor: Prof. Luciano Pasqualoto Canellas.

Conventional agriculture is characterized by the intensive use of pesticides and fertilizers in order to control pests and diseases that cause damage to crops, weeds, and consequently achieve high yields. The intensive and indiscriminate use of pesticides generates a set of negative externalities well documented in the literature, such as soil fertility decrease, elimination of beneficial microorganisms and decrease in the natural resistance of plants, making them more vulnerable to pests and diseases and affecting human health and the environment. The health of the environment and people, as well as agricultural sustainability is dependent of strategies that reduce the need of pesticides use and alleviate the deleterious impacts associated with their use. In this perspective, ecologically-based agriculture aiming to produce in quantity and quality without causing depletion of natural resources. Many authors have reported the use of organic matter as a promising alternative to reduce the use of pesticides in crops, acting as a biotic elicitor. In order to evaluate studies about the use of organic matter and its fractions as resistance elicitors in plants and to compare the effectiveness of different organic matter sources in reducing or inhibiting diseases and pests in cultivated plants, a meta-analysis was carried out. A previous selection of articles was performed and each article was analyzed and included in the meta-analysis when it met the inclusion criteria. After data extraction, statistical analyzes were carried out, presented in the forest plot and in multivariate analysis with principal component analysis (PCA), using the computer program R and PC-ORD. Seven sources of organic matter most frequently used as biotic elicitors were found. In general, all organic matter sources showed significant percentage of inhibition of pests and diseases compared to the control and can contribute to the reduction of the use of pesticides. The greatest

effect of organic sources was observed in the control of diseases, especially diseases fungi, presenting an average effect of 75% and in pests 55%. The organic source most frequently in the studies was vermicompost. However, the one that showed the greatest effectiveness was humic substances (74% effectiveness), highlighting its main effects in the control of fungal and bacterial diseases. The range of SH concentration varied from 1 to 500 mg L⁻¹, with the highest concentrations when applied via soil. The concentration of 40 mg L⁻¹ showed greater efficacy (100%) in controlling nematode infestation in tomato plants. The study demonstrated the enormous potential that organic matter has to be used as a resistance elicitor in plants, allowing to partially or totally reduce the use of pesticides in crops.

Keywords: Ecological agriculture; organic control; biotic stresses

1. INTRODUÇÃO

Agrotóxicos são produtos químicos sintéticos usados para o controle de pragas e doenças que causam danos às lavouras e eliminam a vegetação espontânea, tanto no ambiente rural quanto urbano (Brasil, 2002; INCA, 2021). Esse mercado segue crescendo cerca de 2% ao ano nos Estados Unidos (Mordor Intelligence, 2020), enquanto na Europa o consumo de agrotóxicos vem caindo (Eurostat, 2019).

O Brasil é um dos países que mais consomem agrotóxicos no mundo (Nascimento et al., 2020; Marcelino et al., 2019), ocupando a terceira posição, depois da China e Estados Unidos (FAO, 2021). O uso intensivo e indiscriminado dos agrotóxicos gera um conjunto de externalidades negativas bastante documentadas na literatura. Apesar disso, no ano de 2020, foi autorizado o registro de mais de 493 agrotóxicos no Brasil; de longe o maior número de autorizações dos últimos dez anos. Grande parte desses pertence às classes altamente perigosas ao meio ambiente (Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2020). O mesmo cenário se estabeleceu em 2021.

Os agrotóxicos não afetam somente os organismos alvos, mas também outros microrganismos e invertebrados, reduzindo a biodiversidade (Hvězdová et al., 2018). A exposição do homem aos agrotóxicos promove efeitos agudos e crônicos que podem variar desde simples irritação nos olhos e pele até impactos no sistema nervoso e na saúde reprodutiva. Os trabalhadores rurais expostos aos agrotóxicos podem desenvolver uma série de doenças que vão da alergia ao mal

de Parkinson, infarto, depressão e aumento do risco de diversos tipos de câncer (Kab et al., 2017; Kachuri et al., 2017; Van Maele-Fabry et al., 2017).

No Brasil, o estímulo do uso e a falta de conhecimento e apoio técnico expõe a mão de obra à contaminação com agrotóxicos (Bendetti, 2014; Poletto & Gontijo, 2012). Por exemplo, a agricultura familiar de São José de Ubá (RJ), especializada na produção de tomate, com medo de perda de safra utiliza uma mistura de diferentes produtos de forma indiscriminada, sem observar aspectos básicos de recomendação técnica e não respeitando intervalo de pré-colheita ou período de carência, falta de assistência técnica durante todo o ciclo de cultivo e sem o uso de equipamento de proteção individual (Da Silva et al., 2020). O resultado é a contaminação de toda família, incluindo crianças não envolvidas diretamente no processo produtivo (Buralli et al., 2020). Em Santa Maria de Jetibá (ES), a realidade também não se distancia do relato anterior. Pertali et al. (2018) avaliaram 550 agricultores daquele município e observaram que 89% mencionaram o uso de agrotóxicos extremamente tóxicos, 56% utilizavam mais de cinco agrotóxicos e 51% trabalhavam há mais de 20 anos em contato direto com estes produtos. Metade desses agricultores não lia o rótulo dos agrotóxicos, mais de um terço não observava o tempo de carência para colheita e reaplicação e nem o de reentrada na lavoura; 71% não utilizavam EPI ou utilizavam de forma incompleta.

A crise gerada por esse modelo evidencia a necessidade do desenvolvimento e aplicação de alternativas tecnológicas baseadas em processos ecológicos, que visem assegurar o rendimento da produção (qualitativa e quantitativamente), porém, conservando os recursos naturais e propiciando melhor qualidade de vida aos agricultores e consumidores (Nardi et al., 2016).

O aumento da liberação de uso dos agrotóxicos, acompanhado do seu uso intensivo, além de graves riscos à saúde humana, aumenta a concentração e o acúmulo de substâncias nocivas no solo e nos corpos d'água (Larson et al., 2019), comprometendo os ecossistemas, os recursos hídricos e alimentares (Sharma et al., 2019), reduzindo a população de organismos benéficos do solo, além de reduzir a capacidade de resistência natural das plantas e uma maior ocorrência de patógenos com resistência às moléculas químicas (Keswani, 2014; McDonald e Linde, 2002).

A saúde do ambiente e das pessoas, bem como a sustentabilidade agrícola, dependem do desenvolvimento de estratégias que reduzam a necessidade do uso

de agrotóxicos e aliviem os impactos deletérios associados ao seu uso (Dukaré et al., 2011). Essa abordagem está incorporada no princípio da agricultura de base ecológica, ou seja, produzir alimentos em quantidade e qualidade sem causar esgotamento e poluição dos recursos naturais. Há esforços intensivos em todo o mundo para usar produtos de base biológica para fornecer alternativas válidas aos produtos de origem química sintética, para a proteção de plantas e para aumentar a sustentabilidade do manejo de culturas agrícolas (Venkatesh, 2021; Lange et al., 2021).

Na fase inicial dos processos de transição de sistemas agrícolas, as plantas ainda são bastante vulneráveis ao ataque de pragas e doenças, uma vez que ainda não foi atingido o equilíbrio do sistema com aumento da resistência e dos inimigos naturais para controle biológico de pragas e doenças. Os insumos biológicos vêm sendo integrados nos sistemas de produção a fim de modificar processos fisiológicos e otimizar a produtividade, sendo, portanto, uma ótima alternativa para que os agricultores eliminem total ou parcialmente o uso de agrotóxicos.

A matéria orgânica (MO) também pode ser utilizada com a finalidade de diminuir a incidência de doenças (Bonanomi et al., 2007; Loffredo et al., 2008; Zang et al., 2008; Simsek-Ersahin., 2011; Afifi et al., 2017) e pragas (Jafary-Jahed et al., 2020; Mottaghinia et al., 2015; Razmjou et al., 2011) em plantas, além do condicionamento da qualidade física, química e biológica do solo (Piccolo, 1996; Johnston et al., 2009). Neste contexto, produtos orgânicos (compostos, vermicompostos, chás, biofertilizantes e substâncias húmicas) vêm sendo usados como insumos para o controle biológico de doenças transmitidas pelo solo e também reduzir a gravidade das doenças foliares causadas por fitopatógenos (Silva et al., 2017; Postma & Nijhuis, 2019; Bonanomi et al., 2020; Yattoo et al., 2021), além do uso contra o ataque de herbivoria em plantas (Cardoza YJ., 2010; Mottaghinia et al., 2015), induzindo a capacidade das plantas de se tornar resistentes a infestações de patógenos (Zhang et al., 1996; Zang et al., 1998; Han et al., 2000).

A adição de matéria orgânica ao solo pode aumentar a resistência das plantas de forma indireta, por meio do seu importante papel nas propriedades biológicas do solo, bem como o desenvolvimento da biomassa microbiana do mesmo e sua atividade metabólica, aumentando a riqueza e a diversidade da comunidade microbiana (Hiddink et al., 2005; Hartmann et al., 2015; Bananomi et

al., 2020). Puglisi et al. (2009) concluíram que os ácidos húmicos (fração humificada da matéria orgânica que é insolúvel em meio ácido pH < 2,0), afetam a rizodeposição de plantas de milho e, concomitantemente, a estrutura das comunidades microbianas da rizosfera, desempenhando um importante papel no aumento da atividade microbiana na rizosfera.

Tem sido bem documentado que vários microrganismos do solo, genericamente chamados de rizobactérias promotoras do crescimento de plantas (PGPR) e fungos (PGPF), não apenas promovem o crescimento das plantas, mas também desempenham um papel crucial na proteção contra patógenos (Olivares et al., 2017). Os ácidos húmicos (AH) podem desencadear o enriquecimento de microrganismos com potencial de atuar tanto no crescimento da planta quanto na sua defesa contra patógenos (da Silva et al., 2021a). Esses microrganismos atuam como a primeira linha de defesa da planta (Mendes et al., 2011). Quando essa barreira é quebrada, os patógenos enfrentam mecanismos de defesa induzidos pela planta (Jones e Dangl, 2006).

A composição estrutural da matéria orgânica humificada permite a sua adsorção nas raízes, o que favorece um maior contato das bactérias inoculadas. As maiores chances de sedimentação do inoculante no tecido vegetal permitem que os microrganismos pré-selecionados, quando aplicados na planta em conjunto com AH, tenham uma vantagem na colonização em comparação com os microrganismos competitivos do solo (Olivares et al., 2017).

Durante a infecção da planta por um patógeno, fitormônios como o ácido salicílico (SA), ácido jasmônico (JA) e etileno (ET) são sintetizados em resposta à infecção para limitar o desenvolvimento do mesmo (Van Loon & Van Strien., 1999; Ratchaseema et al., 2021). Estes fitormônios são capazes de estimular a imunidade das plantas e o acúmulo de fitoalexinas e proteínas associadas à resistência das plantas, como proteínas relacionadas à patogênese (PR), entre as quais quitinases e enzimas β -1, 3-glucanase (Abdul Malik et al., 2020). Os sistemas de defesa são denominados de resistência sistêmica induzida (RSI) ou adquirida (RSA), de acordo com a predominância do mecanismo utilizado pelas plantas (Mishra et al., 2012; Robert-Seilaniantz et al., 2011).

A RSA é um mecanismo de defesa inato da planta que pode conferir proteção duradoura contra um amplo espectro de microrganismos (Durrant & Dong, 2004; Obanor et al., 2013), é mediada e dependente de SA, caracterizada por

indução de proteínas relacionadas ao patógeno (PR-proteínas), podendo alterar a morfologia e anatomia da planta e utilizar o salicilato como sinalizador celular (Van Loon et al., 1998). Já a RSI é sublinhada pelos mecanismos dependentes de JA e ET independentes de SA (Verhagen et al., 2004), sem o acúmulo de proteína PR, com poucas alterações na morfologia das plantas (Van Loon et al., 1998, 1999; Pieterse et al., 1999). A regulação positiva dessas vias leva a um maior acúmulo de compostos antimicrobianos (fitoalexinas), ajudando a afastar o patógeno durante o ataque subsequente (Chakraborty et al., 2021).

De Hita et al. (2020) observaram que os AH podem aumentar o teor de JA e seus derivados. O mesmo foi observado por Ali et al. (2019). Além disso, De Hita et al. (2020), também observaram uma grande concentração de SA nas raízes quando o AH foi aplicado nas folhas. Os mecanismos pelos quais a matéria orgânica humificada suprime doenças nas plantas ainda são especulativos, porém, diante dos estudos apresentados, possivelmente a presença dessas moléculas pode interferir nos mecanismos de defesa das plantas, tanto na RSA, quanto na RSI.

Olivares et al. (2015) indicaram uma possível contribuição das SH e das bactérias promotoras de crescimento (*Herbaspirillum seropedicae*), na baixa infestação do patógeno *Phytophthora infestans* em experimento em campo com tomateiro. Em tomate, a aplicação de AH + *Herbaspirillum seropedicae* no substrato de crescimento atuou como eliciadores bióticos desencadeando mecanismos de defesa antes da infecção por *Xanthomomas euvesicatoria*, reduzindo os sintomas da doença nas folhas, indicando a participação do mecanismo de RSI (da Silva et al., 2021 b).

À luz dos potenciais benefícios de diferentes materiais orgânicos sob o controle biológico de pragas e doenças em plantas, uma meta-análise foi conduzida, com o objetivo de avaliar estudos sobre o uso da matéria orgânica como elicitadora de resistência em plantas, destacando seu potencial efeito na redução de doenças e pragas na agricultura.

1.1. Meta-análise

A crescente demanda pelo conhecimento sobre biotecnologias sustentáveis torna-se cada vez maior e necessária. Neste sentido, além de buscar

por novas técnicas, é fundamental que possa extrair o máximo de informações dos estudos já existentes e publicados, visando reduzir o tempo e custo da realização de novos estudos (Omuto et al., 2013). Dessa forma, o uso de meta-análise na grande área de ciências agrárias está em constante crescimento.

Define-se meta-análise como a combinação de resultados de diversos estudos realizados de forma independente, que podem ou não ser extraídos de trabalhos publicados, de tal forma que seja possível sintetizar as suas conclusões ou até mesmo obter uma nova conclusão. Ao acumular resultados entre os estudos, aumentando a amostra total, pode-se obter uma representação mais precisa da relação populacional do que a fornecida pelas estimativas de estudo individuais (Cogo, 2020), melhorando o poder estatístico da análise, assim como a precisão da estimativa do efeito do tratamento (Akobeng, 2005).

A capacidade de estabelecer diagnósticos a partir de realidades já conhecidas, de utilizar adequadamente os bancos de informações, é uma perspectiva promissora, e deve ser mais utilizada nas pesquisas brasileiras (Cogo, 2020). No âmbito agrícola, o número de meta-análises publicadas tem aumentado (Carvalho et al., 2012; Martins, 2017; Costa, 2018; Oliveira, 2018). Tal aumento sinaliza que essa técnica é viável e pode virar rotina nesse campo da ciência (Carvalho et al., 2012) e evidencia que, com a sua aplicação, pode-se evitar gastos desnecessários, além de aumentar a eficiência dos estudos (Costa, 2018), servindo como direcionamento para a tomada de decisão sobre as melhores ações a ser praticadas, apontar as áreas onde não há evidência o suficiente que comprove a eficácia de algumas intervenções ou onde há falhas metodológicas na pesquisa disponível, orientado para pesquisas futuras.

Vale ressaltar que, assim como toda ferramenta, a meta-análise não é infalível ou perfeita. Deve haver critérios na seleção dos dados, pois se esta etapa não for bem efetuada, os resultados obtidos ficarão comprometidos (Carvalho et al., 2012). As etapas básicas da meta-análise são mencionadas por alguns autores (Castro, 2001; Pinto, 2013; Sauvant et al., 2008). Sauvant et al. (2008) destacaram as seguintes etapas: determinação do tema a ser estudado; seleção prévia das publicações; avaliação cuidadosa da literatura disponível; interpretação e codificação dos dados. Com essa base de dados, faz-se a análise gráfica para identificar possíveis relações a ser analisadas e com isso, aplicam-se técnicas estatísticas apropriadas para a interpretação dos resultados.

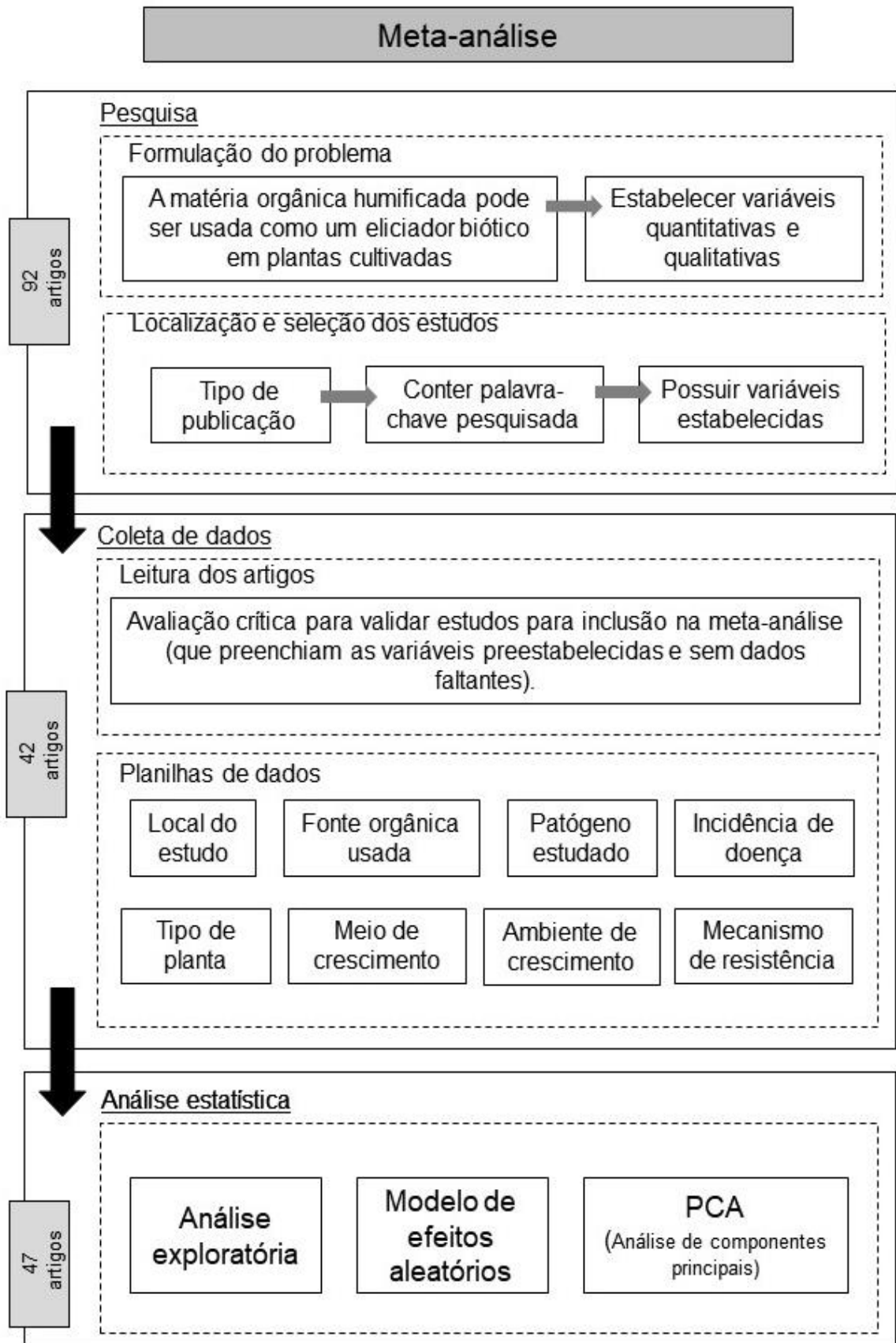


Figura 1. Etapas da meta-análise para realização deste estudo.

2. HIPÓTESE E OBJETIVOS

Hipótese:

Este trabalho se fundamenta na hipótese de que a matéria orgânica e suas frações podem ser usadas para aumentar a resistência das plantas ao ataque de pragas e doenças importantes que afetam as lavouras.

Objetivo:

Avaliar estudos sobre o uso potencial da matéria orgânica como elicitora de resistência em plantas, de maneira a compreender e comparar a eficácia de diferentes fontes orgânicas na redução ou inibição de doenças e pragas em plantas cultivadas.

Objetivos específicos:

- (i) Analisar aspectos qualitativos e quantitativos do efeito potencial de diferentes tipos de fontes de matéria orgânica, como vermicompostos, compostos, carvão vegetal, biofertilizantes, substâncias húmicas e chás de composto e vermicomposto em plantas expostas a diferentes patógenos e insetos-praga;

- (ii) Determinar a influência do ambiente de crescimento, tipo de planta, material orgânico usado e a maneira de aplicação na resposta à inibição da infestação de doenças e pragas;
- (iii) Identificar lacunas em nossa compreensão do uso de materiais orgânicos na indução de resistência em plantas;
- (iv) Fornecer recomendações gerais do uso de materiais orgânicos para o controle de pragas e doenças.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 . Localização e caracterização da área de estudo

A área de estudo foi composta por estudos de diferentes países e não limitada a um país ou continente, sendo este um dos critérios para a seleção dos trabalhos científicos em que a meta-análise foi conduzida.

3.2 . Validação de dados

Os artigos foram coletados nas bases de dados: *Web of Science* – (*Clarivate Analytics*), *Scopus* - IBM (*International Business Machines Corporation*), e *Scielo* - *Scientific Electronic Library Online*, usando as palavras-chave com suas combinações: ‘*compost*’, ‘*vermicompost*’, ‘*compost tea*’, *vermicompost tea*’, ‘*humic substances*’, ‘*humic acids*’, ‘*fulvic acids*’ e ‘*pest*’, ‘*plague*’, ‘*disease plant*’.

O resultado das palavras-chave usadas na pesquisa em todas as bases de dados totalizou 695 artigos publicados em inglês, espanhol e português. Desses artigos, alguns se repetiram nas diferentes bases de dados e nas diferentes combinações de palavras-chave. Aqueles que em seu resumo apresentavam o uso de uma fonte orgânica para controle de doenças e ou pragas foram reservados para posterior leitura. Nessa primeira fase de busca, foram selecionados 92 artigos, do total de 695.

3.3 . Critérios para inclusão e exclusão de artigos

Os estudos considerados para esta análise atenderam aos critérios: (i) Artigos de pesquisa publicados de 2010 a 2021; (ii) Estudos em que foi avaliado o efeito de algum material orgânico em culturas sob o ataque de pragas e doenças; (iii) Foi conduzido em casa de vegetação / estufa / casa com tela, câmara de crescimento ou testes de campo; (iv) Apresentou um ou mais dados quantitativos em relação à ocorrência ou não de doenças e ou insetos-praga nas culturas. Durante a fase de extração de dados dos artigos, aqueles que não atenderam aos critérios considerados para esta meta-análise foram excluídos, como: (i) Equivalesses a artigos de revisão, livros e capítulos de livros; (ii) Estudos conduzidos apenas como experimentos *in vitro* com patógeno e fonte orgânica e finalmente (iii) Estudos que os dados não estavam em formas extraíveis (artigos que não quantificaram a inibição de doença ou praga em plantas por diferentes fontes de matéria orgânica).

Os artigos selecionados após os critérios de inclusão e exclusão foram posteriormente considerados para meta-análise, somando um total de 42 artigos que enquadraram nos critérios de inclusão e usados na mesma. Dos 42 artigos incluídos, em cinco artigos, os autores estudaram mais que um agente causal e ou cultura, e obtiveram diferentes porcentagens de inibição de pragas e doenças, por isso, para análise estatística, esses artigos foram considerados duas vezes, totalizando 47 estudos observados.

3.4 . Planilha de dados

Após a triagem de cada estudo científico, foi construída uma base de dados em planilha eletrônica (anexo I), com as informações do artigo, como: Autores, ano de publicação, revista e o fator de impacto de cada revista em que esses estudos foram publicados. Posteriormente, foram extraídas informações referentes ao estudo realizado, como: local do experimento (cidade/país), clima, doença/praga e seu agente causal, tipo de cultura, local de crescimento (estufa, campo e laboratório), meio de crescimento (solo ou hidroponia), forma de contaminação do patógeno (inoculado ou espontânea), a forma de aplicação do material orgânico (Spray foliar, via substrato ou via semente), o tipo de material orgânico e, por fim, a % de inibição ou redução de doença e ou praga em plantas cultivadas que cada estudo apresentou em relação ao controle.

Foi realizada uma análise exploratória dos dados, para descrever o comportamento das variáveis nos estudos selecionados. As variáveis utilizadas foram: o tipo de planta, o ambiente de crescimento, meio de crescimento, tipo de aplicação, forma de contaminação, tipo de agente causal e a fonte orgânica usada.

3.5 . Análise de dados

A análise exploratória foi realizada com base na frequência de número de experimentos em relação às fontes de variação estudadas. Além da análise exploratória com base na frequência, os dados foram analisados considerando que o conjunto de estudos em análise não é exatamente igual em seus métodos e / ou nas características das amostras incluídas, introduzindo variabilidade entre os efeitos reais dos critérios avaliados, assume-se que a heterogeneidade do conjunto de dados é puramente aleatória, dessa forma, o modelo de efeitos aleatórios foi dado por $\theta_i = \mu + \mu_i$, onde: $\mu_i \sim N(0, \tau^2)$, e os verdadeiros efeitos são assumidos como normalmente distribuídos com a média μ e variância τ^2 .

Para o cálculo do tamanho de efeito ou medidas de resultado (e as variações de amostragem correspondentes), empregou-se a função `escalc()`, cuja medida de resultados (y_i e v_i) foi designada para determinação da taxa de risco, “RR” (*risk ratio*): $RR = \log(a_i/b_i)/(c_i/d_i)$.

A partir das medidas de resultado, o modelo aleatório foi ajustado por meio da função `rma()` pelo método de máxima verossimilhança, calculando as estimativas da taxa de risco. Na função `forest()` empregada para representação gráfica (Forest Plot) dos objetos gerados pelo modelo ajustado, foi considerado o intervalo de confiança de 95%. Estas análises foram realizadas no software estatístico R version 4.0.3 (Development Core Team 2020), utilizando-se o pacote `metafor` (Viechtbauer, 2010).

O gráfico de floresta ou parcelas florestais (*Forest plot*) apresenta informações individuais dos estudos e resultados da presente meta-análise, mostrando a medida de efeito e o intervalo de confiança para cada fonte de variação estudada, sendo que a medida de efeito é representada por um quadrado. O tamanho do quadrado é definido pelo peso do estudo na meta-análise. Quanto maior for o peso deste estudo, maior o tamanho do quadrado da medida de efeito. Também, em torno da medida de efeito, é exibida uma linha horizontal que caracteriza o respectivo intervalo de confiança, sendo que quanto maior esta linha, maior é a variabilidade dentro do estudo (Rodrigues & Ziegelmann, 2010). Outro

elemento que compõe o gráfico é a linha vertical que marca o efeito nulo, que caracteriza a taxa de probabilidade ou risco relativo sendo iguais a 1 (Santos & Cunha, 2013). Os gráficos de floresta podem incluir o resultado do efeito geral de uma meta-análise, normalmente na parte inferior do gráfico, usando um losango para diferenciá-lo dos estudos individuais (Anzures-Cabrera & Higgins, 2010).

Para facilitar a comparação entre as fontes de variação, foi calculada a eficácia de inibição de pragas e doenças (IPD) por meio dos valores de incidência de pragas e doenças observados nos estudos, concatenados às fontes de variação e, posteriormente, aplicados à fórmula proposta por Sukamto (2003): $Ea = (IPk - IPp) / IPk \times 100\%$. Onde Ea – Eficácia; IPk - Incidência da doença em controles; IPp - Incidência da doença com tratamento. Os valores de eficácia são categorizados como muito bons ($Ea > 69\%$), bom ($Ea = 50-69\%$), ruim ($Ea = 30-49\%$) e muito ruim ($Ea = <30\%$) como sugerido por Sukamto, (2003).

Para o conjunto de dados de incidência de pragas e doenças (IPD) e prevalência de pragas e doenças (CT) foi realizada a análise de componentes principais (ACP), para explorar as relações entre as fontes orgânicas e a incidência de pragas e doenças. A matriz de correlação foi utilizada no procedimento. E, as diferenças multivariadas foram acessadas pelo teste de permutações aleatórias dos dados (teste de Monte-Carlo) (Mielke & Berry, 2001). As análises multivariadas foram realizadas utilizando o software PC-ORD, Versão 6 (McCune & Mefford, 2011).

4. RESULTADOS

Dentre os estudos observados, 47 avaliaram o potencial de diferentes fontes orgânicas em reduzir a incidência de diferentes pragas e doenças em plantas. A maioria dos estudos (58,1%) foi realizada no continente Asiático, em oito países (Irã, Índia, Egito, China, Indonésia, Israel, Tailândia e Paquistão), sendo o Irã, o país com maior número de estudos, seguido pela Índia e China (Figura 2). O continente Americano contribuiu com o total de nove estudos (21%), o continente Europeu com sete (16,3%) e a África com apenas dois estudos (4,6%).

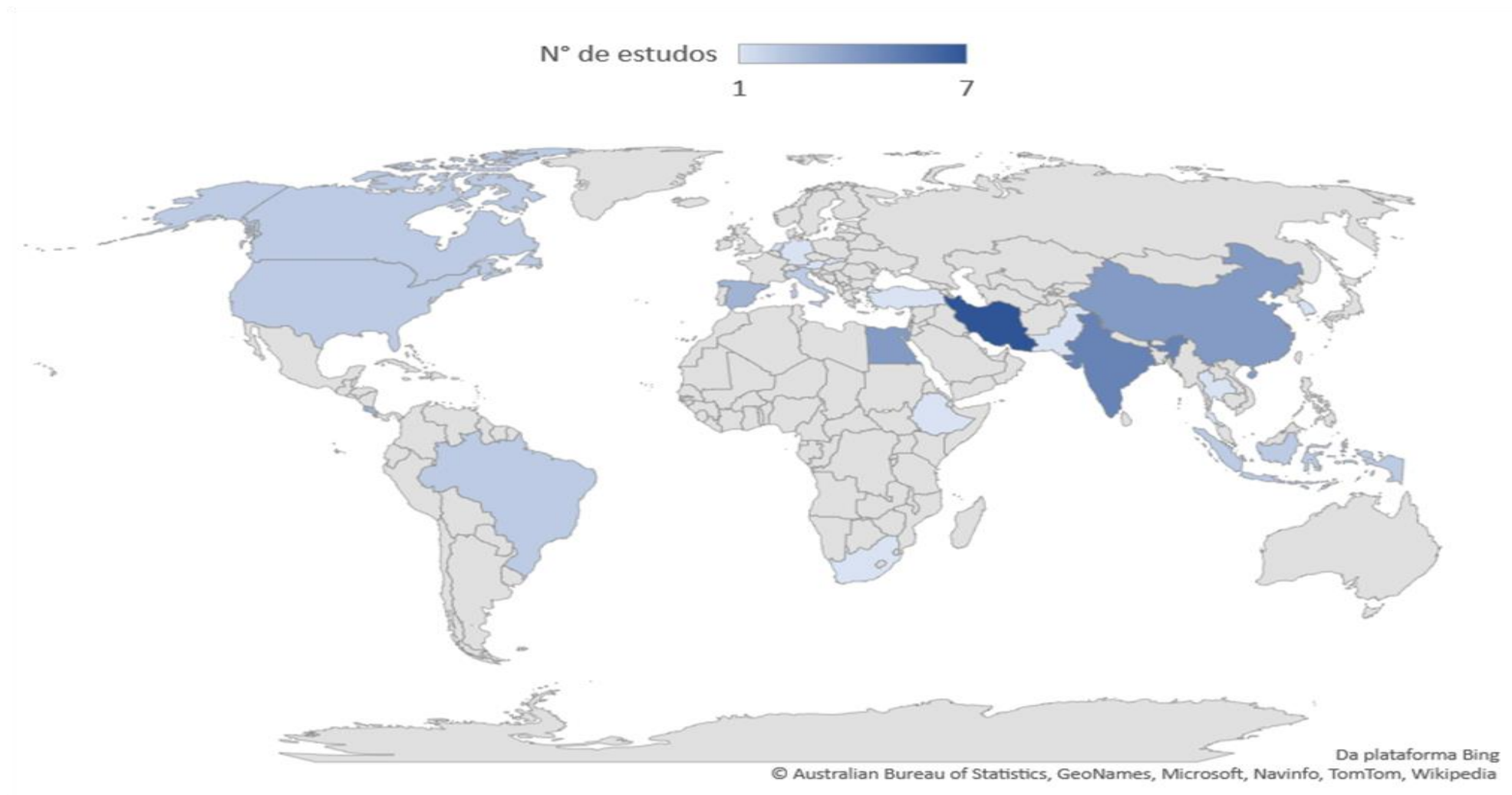


Figura 2. Distribuição geográfica dos estudos incluídos na meta-análise.

No conjunto de dados analisados, o vermicomposto e fontes orgânicas em combinações foram os tratamentos com maior frequência de utilização nos estudos, seguido pelo chá de composto e vermicomposto e as substâncias húmicas, como pode ser observado na Figura 3.

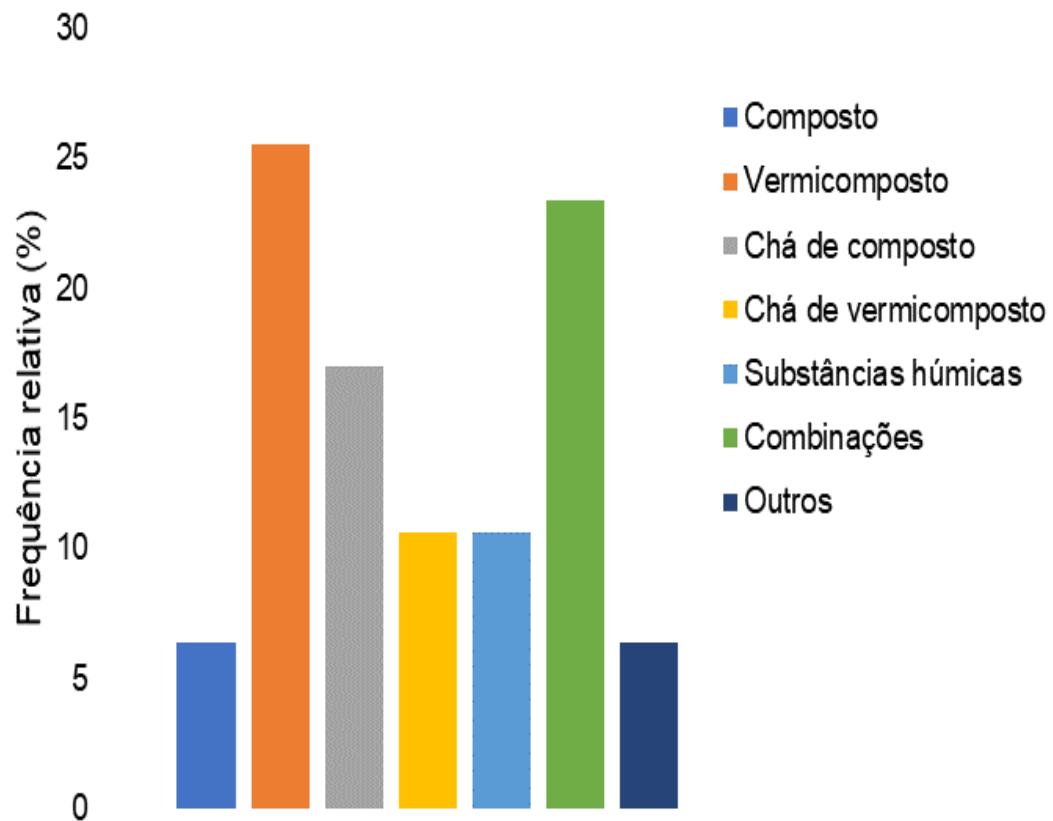


Figura 3. Frequência relativa da utilização de fontes orgânicas nos estudos como condicionante da redução da incidência de pragas e doenças em plantas. C – Composto orgânico; V – Vermicomposto; CC – Chá de composto orgânico; CV – Chá de vermicomposto; SH – Substâncias Húmicas; Comb – V+Microorganismos, C+Microorganismos, AH+Microorganismos, V+AH, V+CV, C+Carvão vegetal, AH+Quitossana; Outros – Biofertilizante e Carvão vegetal.

Entre as fontes orgânicas consideradas pelos dados obtidos, o vermicomposto foi o mais usado em estudos, cujo objetivo foi de testar o potencial efeito de redução ou inibição de incidência de pragas em plantas, enquanto em estudos relacionados com a redução da incidência de doenças, há uma maior variabilidade de fontes orgânicas estudadas (Figura 4A). A utilização do vermicomposto destaca-se com a maior diversidade de agentes causais (24,5%) estudados (Figura 4B). De modo geral, o *Fusarium* spp. foi o agente causal mais estudado (Figura 4B).

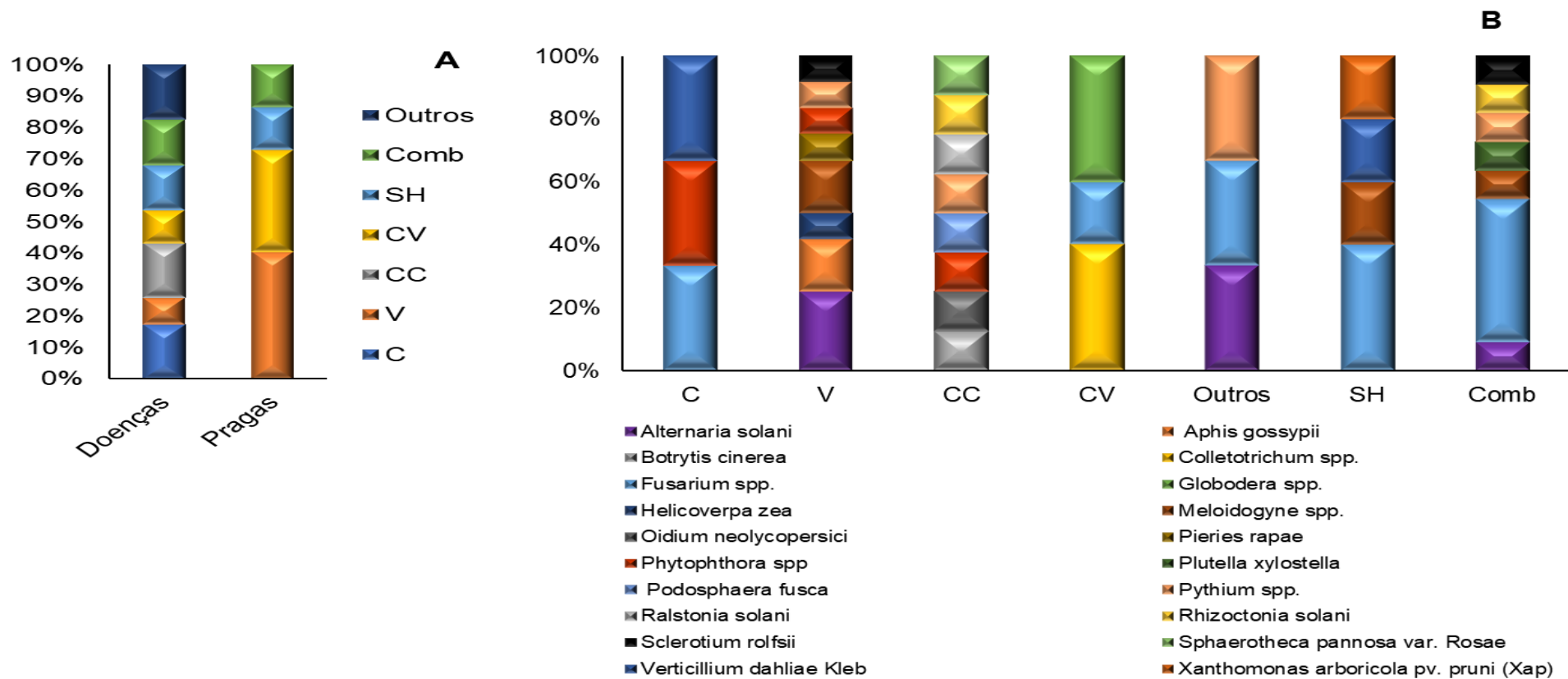


Figura 4. 4A - Frequência relativa do estudo de pragas (insetos e nematoides) e doenças (fúngicas e bacterianas) em plantas, em relação à utilização de fontes orgânicas.; 4B –Frequência relativa do estudo de insetos-praga e patógenos causadores de doenças em plantas, em relação à utilização de fontes orgânicas. C – Composto orgânico; V – Vermicomposto; CC – Chá de composto orgânico; CV – Chá de vermicomposto; SH – Substâncias Húmicas; Comb – V+Microorganismos, C+Microorganismos, AH+Microorganismos, V+AH, V+CV, C+Carvão vegetal, AH+Quitosana; Outros – Biofertilizante e Carvão vegetal.

As culturas estudadas foram agrupadas conforme a sua família botânica. A família mais estudada foi a Solanaceae, que também apresentou maior variação de fontes orgânicas utilizadas, seguida pela família das Cucurbitáceas. As fontes orgânicas mais usadas para o controle de pragas e doenças em Solanaceae foram o composto orgânico e o chá de composto. Na família das cucurbitáceas, destacou-se o uso de vermicomposto e o chá de vermicomposto (Figura 5).

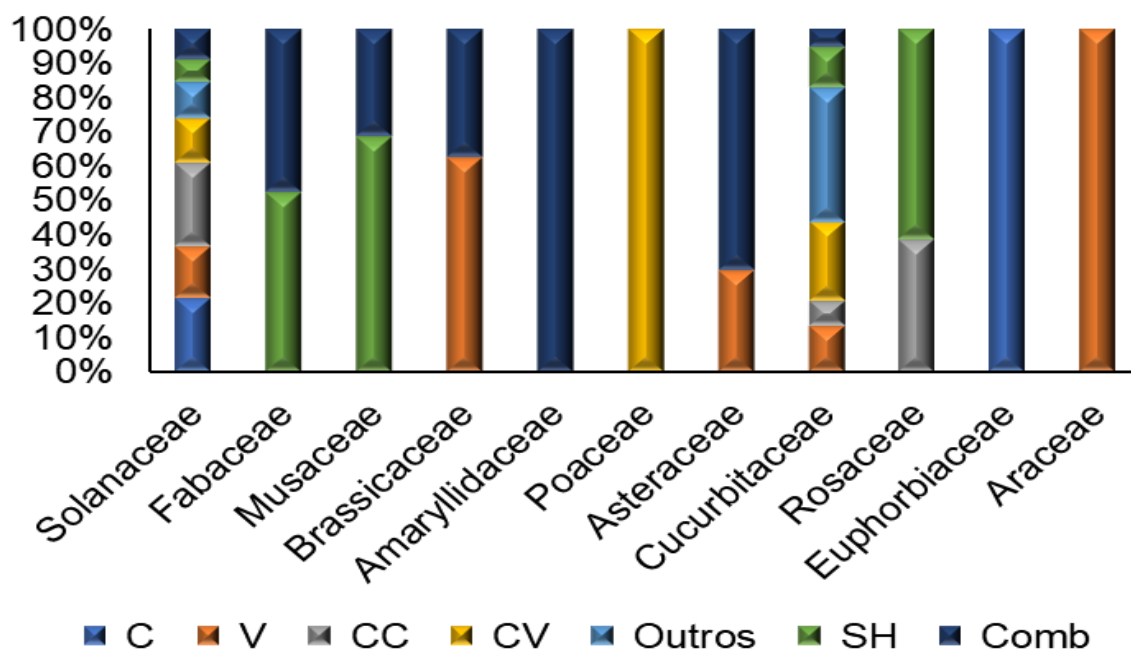


Figura 5. Distribuição da frequência relativa de espécies cultivadas mais estudadas no uso de diferentes fontes orgânicas no controle de pragas e doenças. C – Composto orgânico; V – Vermicomposto; CC – Chá de composto orgânico; CV – Chá de vermicomposto; SH – Substâncias Húmicas; Comb – V+Microorganismos, C+Microorganismos, AH+Microorganismos, V+AH, V+CV, C+Carvão vegetal, AH+Quitossana; Outros – Biofertilizante e Carvão vegetal.

O efeito de cada fonte de variação (família das plantas, forma de aplicação, forma de contaminação, meio de crescimento, fonte orgânica, agente causal e ambiente de crescimento) na porcentagem de inibição de pragas e doenças em plantas pode ser observado pelos gráficos de árvore (*Forest plot*) (Figuras 6, 7A, 8, 9, 10, 11 e 12).

Considerando o total de 47 observações analisadas, obteve-se uma média geral de 72,8% de inibição da ocorrência de pragas e doenças. Observando a porcentagem de inibição entre praga e doença, houve uma inibição média de 67%

para pragas e 75% para doenças. Já em relação às famílias das plantas estudadas, destacam-se a Asteraceae (85,3 %) e Cucurbitaceae (80,1 %), com as maiores porcentagens de inibição de pragas e doenças em plantas. No entanto, o tamanho amostral (somente 3 observações) no grupo das Asteraceae, pode ter contribuído para uma média alta de inibição, assim como no grupo das Fabaceae (3 observações), que resultou em uma média baixa em relação aos outros grupos de plantas. As Solanáceas, grupo de plantas que apresentou maior número de observações e maior diversidade de agentes causais e fontes orgânicas estudadas, apresentou uma média inferior ao grupo das Asteraceae e cucurbitáceas, com 70,6% de inibição. Em geral, todos os grupos de plantas apresentaram significância estatística, destacando-se Asteraceae, Cucurbitaceae e Solanaceae, com estudos que tiveram um maior peso na formação do efeito final de plantas expostas a patógenos sob diferentes fontes orgânicas (Figura 6), na qual o tamanho do quadrado indica o tamanho do efeito no resultado final da meta-análise, representado pelo losango.

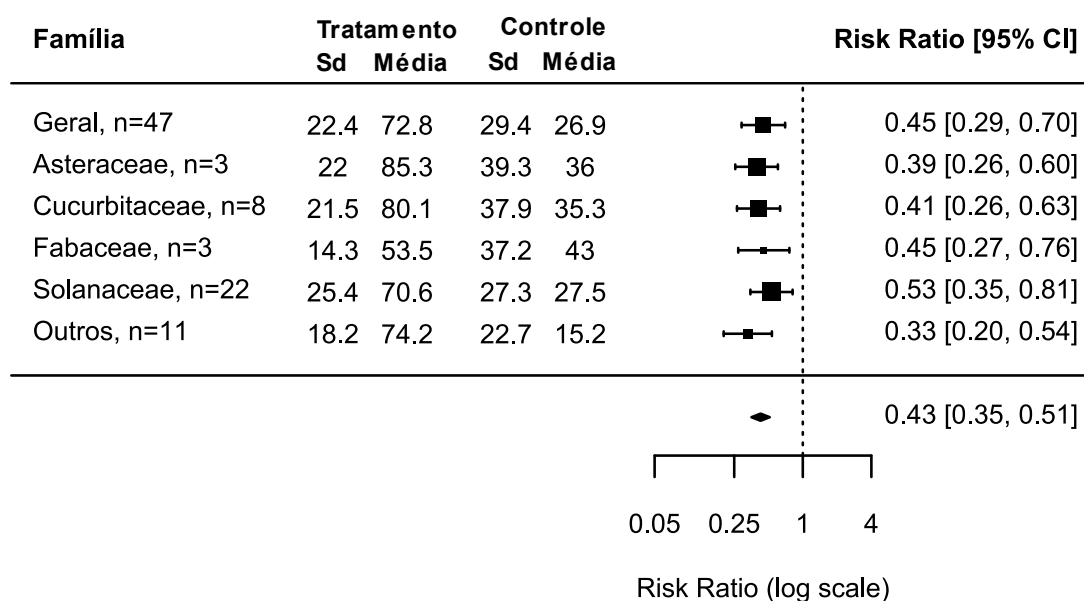


Figura 6. Influência do tipo de planta (agrupadas em famílias botânicas) na % de inibição de praga e doenças sob diferentes fontes orgânicas como indutores bióticos de resistência. O tamanho do quadrado - corresponde ao tamanho do efeito médio e as barras de erro à confiança de 95%; CI – Intervalo de confiança a 95%; Losango – o tamanho do efeito final dos estudos incluídos na meta-análise; Risk Ratio – Taxa de risco. Outras – correspondem às famílias com número de estudos inferiores a 3 estudos por família.

A porcentagem de inibição de pragas e doenças em diferentes grupos de plantas por fontes orgânicas pode estar relacionada ao tipo de mecanismo de resistência sistêmica que é acionado sob efeito dos tratamentos. Nos estudos apresentados e analisados nesta meta-análise, os autores apresentaram os mecanismos de resistência de forma direta e indireta (Tabela 1).

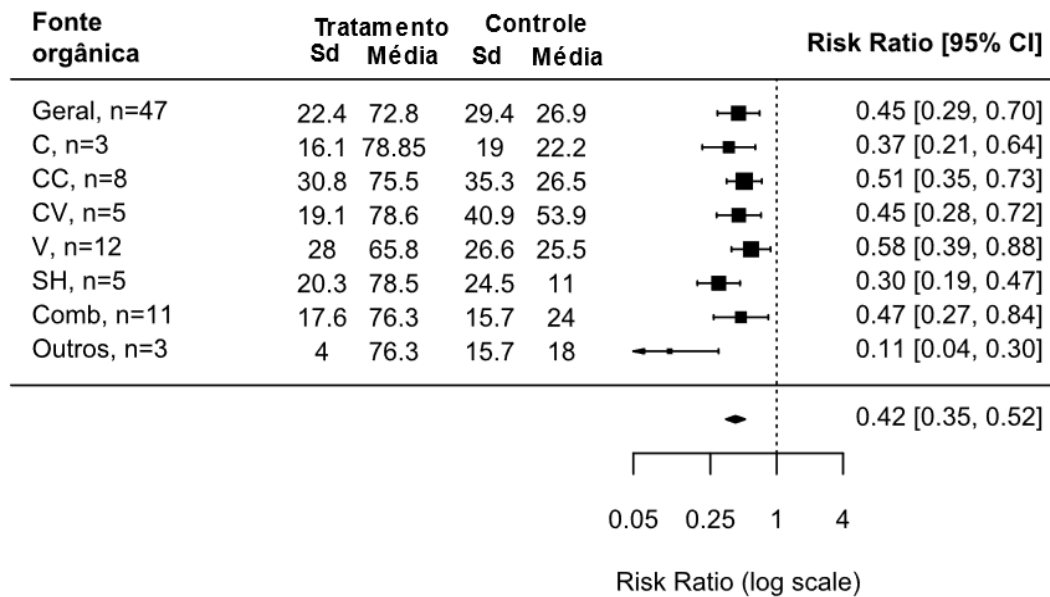
O tomate, que pertence ao grupo das solanáceas, é de longe a cultura na qual mais se utilizou controle orgânico de pragas e doenças. O mecanismo de resistência indicado como responsável pelos resultados foi a resistência sistêmica induzida (RSI), tanto diretamente, quanto indiretamente (Tabela 1). A indicação direta ou indireta refere-se aos autores que indicaram um possível mecanismo a partir da porcentagem de inibição da doença ou praga; e direta, são as indicações feitas a partir do uso de análises com marcadores de resistência em plantas, como genes de defesa e ou enzimas defensivas. Alguns autores não indicaram nenhum tipo de mecanismo (indicados pela sigla NI – Nenhuma indicação, Tabela 1). Em geral, os estudos mostraram que fontes orgânicas podem acionar o mecanismo de RSI. Nenhum estudo, dentre todos analisados, apontou o mecanismo de resistência sistêmica adquirida (RSA), por isso nem consta na Tabela 1.

Tabela 1. Mecanismos de resistência sistêmica em plantas, sob diferentes fontes orgânicas

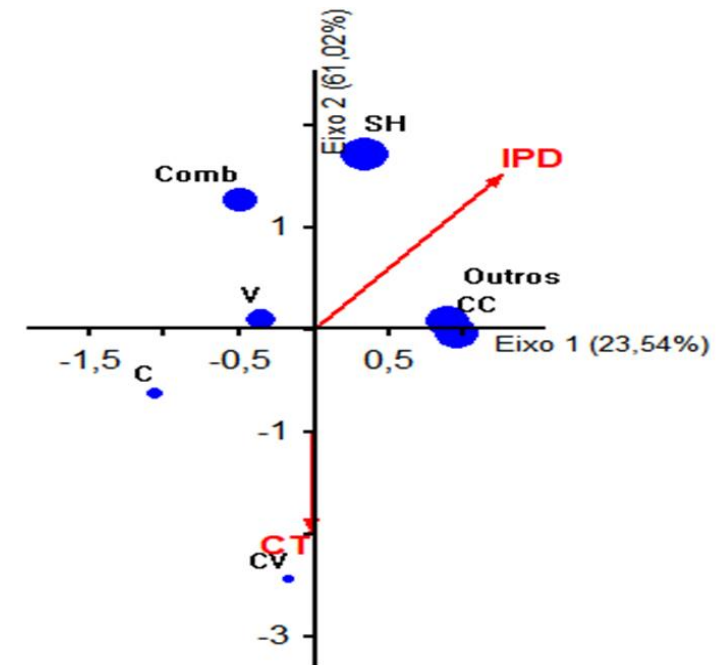
Cultura	Mecanismos de resistência	Fontes orgânicas							Autores
		V	C	CV	CC	SH	Comb	Outros	
Solanum lycopersicum (Tomate)	RSI indireta	3	–	–	2	–	1	1	Jaya et al.,2021; Rasool et al., 2021; Istifadah et al.,2020; Basco et al., 2017; Akter et al., 2016; Xiao et al., 2016; Demir et al., 2015; Castro et al., 2011; Dukare et al.,2011; Koné et al., 2010;
	RSI direta	1	–	–	–	–	1	–	
	NI	–	–	–	2	1	1	–	
Cucumis sativus (Pepino)	RSI indireta	–	–	–	–	1	–	1	Jaiswal et al., 2018; Afifi et al., 2017; Rostami et al., 2014; Razmjou et al., 2014; Sang & Kim., 2011; Razmjou et al., 2011.
	RSI direta	–	–	1	–	–	–	–	
	NI	2	–	–	–	–	1	–	
Capsicum annuum spp. (Pimenta e Pimentão)	RSI indireta	1	–	–	1	–	–	–	Mardani-Talaei et al., 2017; Blaya et al., 2016; Uribe-Lorio et al., 2014; Marin et al., 2014; Sang & Kim., 2011.
	RSI direta	–	–	1	–	–	–	–	
	NI	1	1	–	–	–	–	–	
Solanum tuberosum (Batata inglesa)	RSI indireta	–	–	–	1	–	–	–	Mengesha et al., 2017; Renco & Kovacic, 2015 Molina et al., 2014.
	RSI direta	–	–	–	–	–	–	–	
	NI	–	1	2	–	–	–	–	
Musa (Banana)	RSI indireta	–	–	–	–	–	1	–	Tao et al., 2020; Seenivasan & Senthilnathan., 2017
	RSI direta	–	–	–	–	–	–	–	
	NI	–	–	–	–	1	–	–	
Cucumis melo (Melão)	RSI indireta	–	–	–	–	1	–	1	Zhao et al., 2018; Marin et al., 2013.
	RSI direta	–	–	–	–	–	–	–	
	NI	–	–	–	–	–	–	–	
Phaseolus vulgaris (Feijão)	RSI indireta	–	–	–	–	1	1	–	El-Mohamedy et al., 2017
	RSI direta	–	–	–	–	–	–	–	
	NI	–	–	–	–	–	–	–	
Arabidopsis thaliana (Arabidopsis)	RSI indireta	–	–	–	–	–	–	–	Little & Cardoza., 2011; Cardoza., 2010.
	RSI direta	–	–	–	–	–	–	–	
	NI	2	–	–	–	–	–	–	
Xanthosoma sagittifolium (Taioba)	RSI indireta	1	–	–	–	–	–	–	Artavia et al., 2010
Manihot esculenta (Mandioca)	RSI indireta	–	–	–	–	1	–	–	Silva et al., 2017
Brassica napus (Canola)	RSI indireta	–	–	–	–	–	1	–	Jafary-Jahed et al., 2020
Cicer arietinum (Grão de bico)	RSI indireta	–	–	–	–	–	1	–	Sahni et al., 2021
Abelmoschus esculentus (Quiabo)	RSI indireta	1	–	–	–	–	–	–	Hussain et al., 2017
Rosa (Roseira)	RSI indireta	–	–	–	1	–	–	–	Seddigh & Kiani., 2017
Triticum (Trigo)	RSI indireta	–	–	1	–	–	–	–	Akinuoye-Adelabu et al., 2019
Lactuca sativa (Alface)	RSI indireta	–	–	–	–	–	1	–	Charoenrak et al., 2019
Allium sativum (Alho)	RSI indireta	–	–	–	–	–	1	–	Ismail et al., 2020
Helianthus tuberosus (Alcachofra)	RSI direta	–	–	–	–	–	1	–	Khaled et al., 2019
Prunus persica (Pêssego)	RSI direta	–	–	–	–	1	–	–	Giovanardi et al., 2016

Onde: V - Vermicomposto; C – Composto; CC - Chá de composto; CV- Chá de vermicomposto; SH – Substâncias húmicas; Comb - Fontes orgânicas em combinações; Outros - (Fontes orgânicas com frequência inferior a 5%); RSI - resistência sistêmica induzida, citada de forma direta pelos autores; NI – Nenhuma indicação de mecanismo; Foram considerados citados de forma indireta, aqueles autores que não realizaram análises que pudessem concluir o mecanismo de resistência que esteve presente, enquanto outros que fizeram citações diretas em relação ao mecanismo de resistência, realizaram análises de expressão gênica, proteínas e enzimas importantes que atuam no determinado mecanismo.

No que tange às fontes orgânicas, o C, CV e SH, proporcionaram os maiores efeitos de inibição de pragas e doenças quando comparados aos demais (Figura 7A). No entanto, as SH apresentaram a menor taxa de risco de ser igual ao controle. Essa análise foi corroborada pela análise de componentes principais (ACP), que também verificou que as SH apresentaram maior eficácia significativa no controle (Figura 7B).



A



B

Figura 7A. Influência das fontes orgânicas na inibição de pragas e doenças em plantas. Onde: Quadrados - correspondem ao tamanho do efeito médio e as barras de erro à confiança de 95%; Losango - Corresponde ao tamanho do efeito final dos estudos incluídos na meta-análise; C – Composto; CC – Chá de composto; CV – Chá de vermicomposto; V – Vermicomposto; SH – Substâncias húmicas; Comb – V+Microorganismos, C+Microorganismos, AH+Microorganismos, V+AH, V+CV, C+Carvão vegetal, AH+Quitossana; Outros – Biofertilizante e Carvão vegetal; **7- B.** Análise de componentes principais (ACP) da eficácia no controle de pragas e doenças vs. fontes orgânicas. 84,56 % é a porcentagem da variância explicada pela APC1 + APC 2, pelo teste de permutação de Monte Carlo, $p < 0,0099257$.

A inibição de diferentes agentes causais também foi analisada considerando as fontes orgânicas (Figura 8). A maior porcentagem de inibição foi encontrada nos estudos nos quais o agente causal foi o nematoide (81%), seguido por fungos (75%). Os estudos que usaram fungos como agentes causadores de doenças nas plantas obtiveram maior peso no efeito final (quadrado maior), enquanto os com bactérias apresentaram média alta, mas com baixo peso sobre o efeito final dos tratamentos, entretanto apresentaram um tamanho amostral pequeno.

Em geral, todos os grupos de agentes causais apresentaram efeito significativo ao tratamento com fontes orgânicas, exceto o grupo dos inseto-praga, que apresentaram uma média baixa (55,7%) em relação aos estudos com fungos e nematoides, com a barra de erro do intervalo de confiança sobrepondo-se à linha central indicando, portanto, a ausência de diferença significativa entre os estudos analisados em relação ao controle. Em relação aos estudos com doenças bacterianas, embora tenham apresentado uma média satisfatória de inibição de doença (72%), pouco contribuíram para o efeito final da meta-análise, representado pelo losango. O tamanho amostral (inferior a 3 estudos), pode ter contribuído para tal resultado em relação aos estudos com doenças bacterianas.

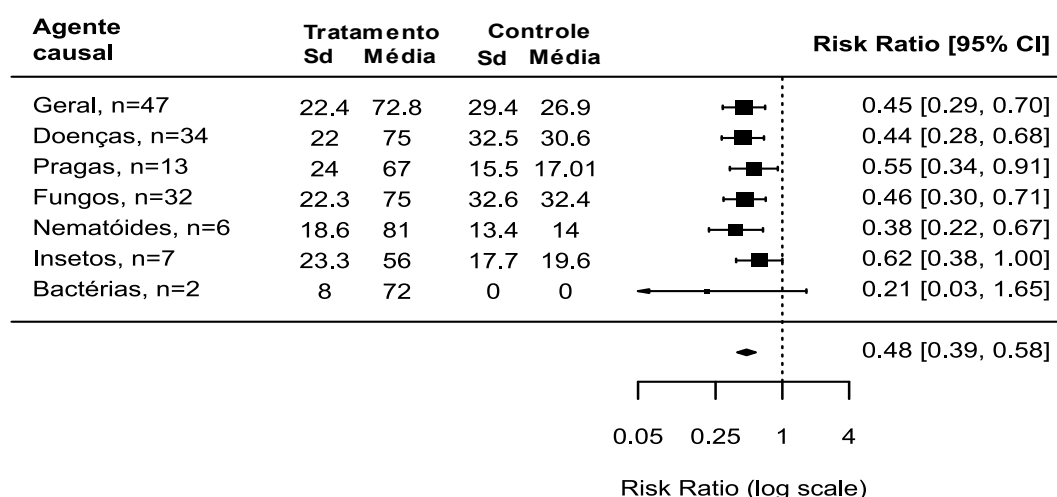


Figura 8. Influência do agente causal, sobre a porcentagem de inibição de doenças e pragas por matéria orgânica. O tamanho do quadrado - corresponde ao tamanho do efeito médio e as barras de erro à confiança de 95%; CI – Intervalo de confiança a 95%; Losango – o tamanho do efeito final dos estudos incluídos na meta-análise; Risk Ratio – Taxa de risco.

Em relação à variável forma de aplicação das fontes orgânicas, tanto a aplicação via substrato e via foliar, e ou semente, favoreceram o controle inibindo a incidência de pragas e doenças nas plantas. A percentagem % de inibição entre as duas formas de aplicação (spray foliar e substrato) permaneceram bem próximas, como observado na Figura 9.

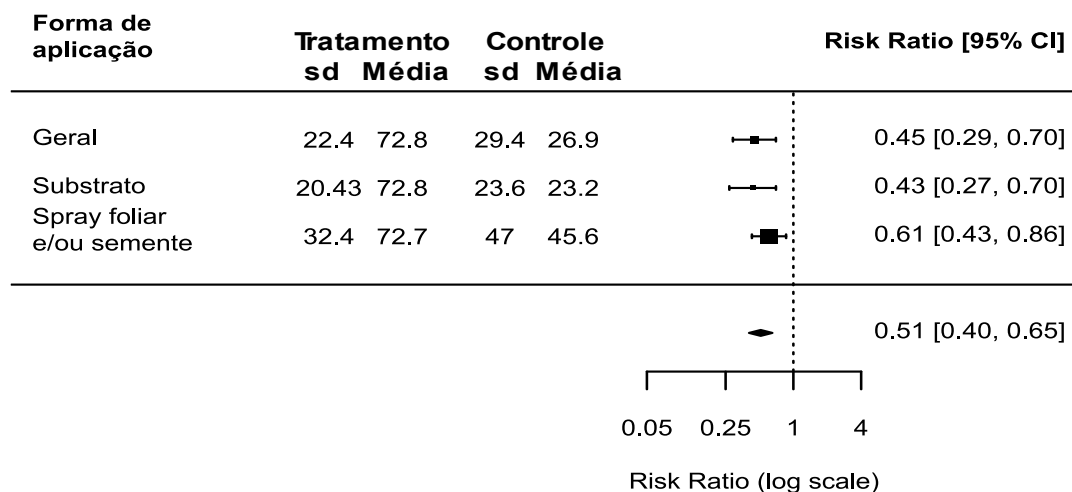


Figura 9. Efeito da forma de aplicação de diferentes fontes orgânicas, sobre as plantas estudadas na porcentagem de inibição de praga e doenças. O tamanho do quadrado - corresponde ao tamanho do efeito médio e as barras de erro à confiança de 95%; CI – Intervalo de confiança a 95%; Losango – o tamanho do efeito final dos estudos incluídos na meta-análise; Risk Ratio – Taxa de risco.

Com relação à forma de contaminação da planta (se espontânea ou inoculada), atingiu-se a maior porcentagem de inibição de pragas e doenças com a inoculação (73,4 %). Entretanto, a Figura 10, mostra que tanto na contaminação inoculada como na espontânea não há diferença significativa entre os estudos avaliados em relação ao tipo de contaminação, apesar de a forma de contaminação

espontânea ter apresentado baixo peso no efeito final dos estudos.

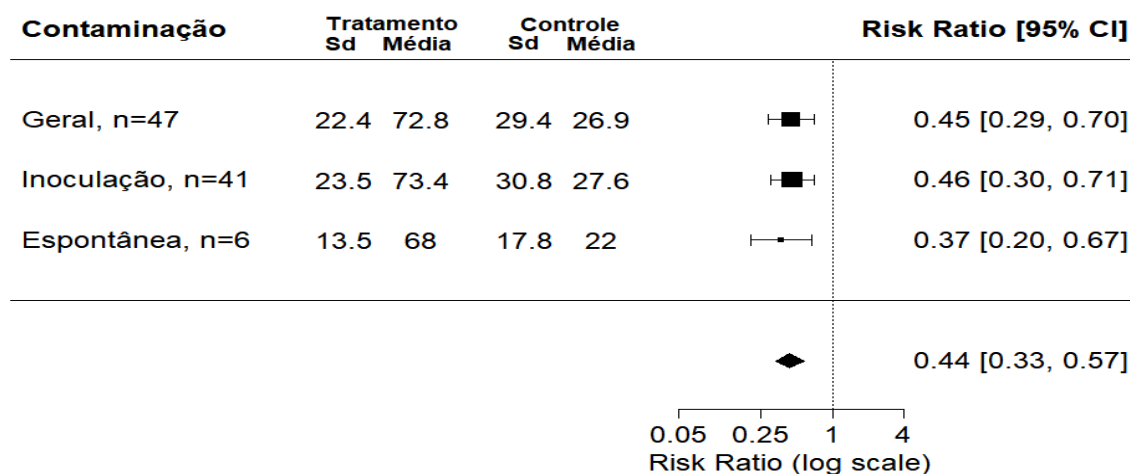


Figura 10. Efeito do tipo de contaminação de agentes causais, sobre as plantas estudadas na porcentagem de inibição de praga e doenças. O tamanho do quadrado - corresponde ao tamanho do efeito médio e as barras de erro à confiança de 95%; CI – Intervalo de confiança a 95%; Losango – o tamanho do efeito final dos estudos incluídos na meta-análise; Risk Ratio – Taxa de risco.

Em relação ao meio de crescimento, a porcentagem de inibição de doenças e pragas em plantas variou de 74,9 % (Hidroponia) a 72,6 % (solo) (Figura 11).

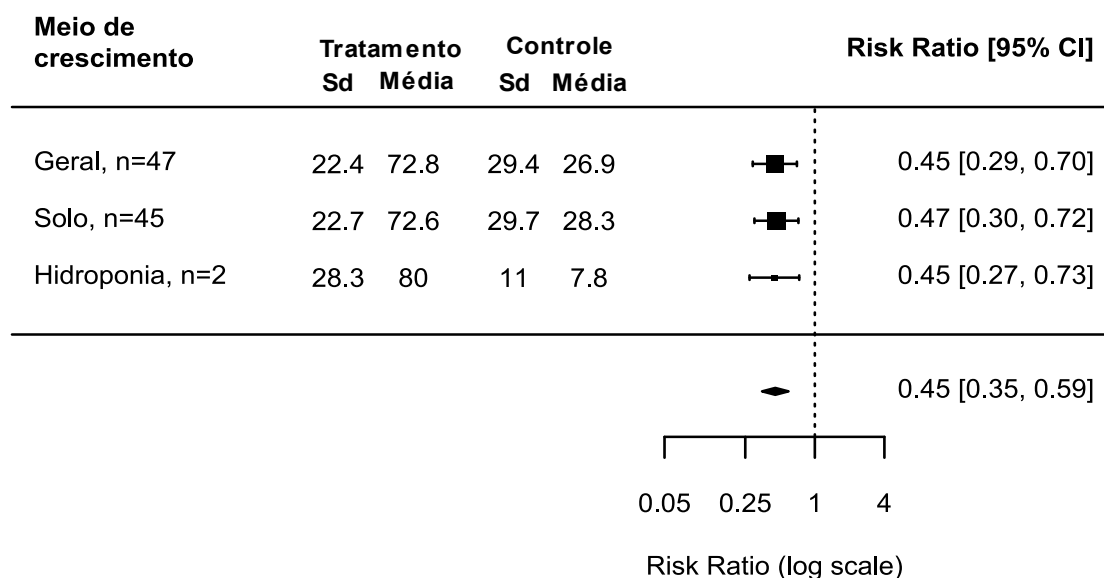


Figura 11. Efeito do meio de crescimento usado em plantas expostas a agentes causais, sob tratamento com diferentes fontes orgânicas de diferentes fontes orgânicas na % de inibição de praga e doenças. O tamanho do quadrado - corresponde ao tamanho do efeito médio e as barras de erro à confiança de 95%; CI – Intervalo de confiança a 95%; Losango – o tamanho do efeito final dos estudos incluídos na meta-análise; Risk Ratio – Taxa de risco.

Considerando o ambiente de crescimento, quando as experimentações foram realizadas em casa-de-vegetação, a porcentagem de inibição foi maior (74%) (Figura 12).

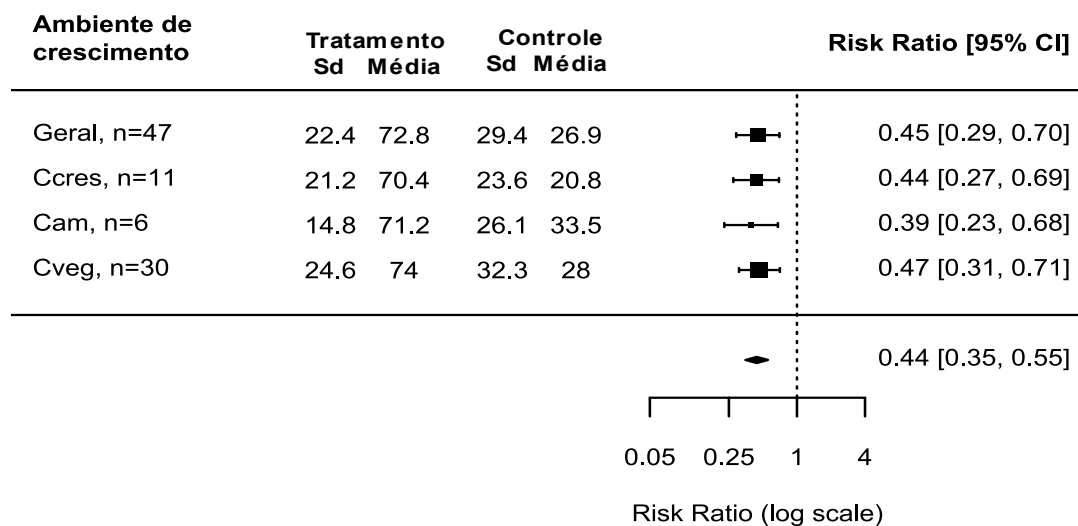


Figura 12. Efeito da forma de aplicação de diferentes fontes orgânicas sobre as plantas estudadas na % de inibição de praga e doenças. O tamanho do quadrado - corresponde ao tamanho do efeito médio e as barras de erro à confiança de 95%; CI – Intervalo de confiança a 95%; Losango – o tamanho do efeito final dos estudos incluídos na meta-análise; Risk Ratio – Taxa de risco.

Por fim, outra importante variável que atua constantemente, interferindo na eficácia de fontes orgânicas no controle de pragas e doenças, são as concentrações usadas em cada planta, com determinado patógeno como alvo. No geral, há uma grande variação de concentrações usadas, e conseqüentemente obtém-se uma maior variação na sua eficácia em diferentes agentes causais. A eficácia da concentração pode estar mais relacionada com as propriedades químicas da fonte orgânica, como o conteúdo de carbono e com o agente causal em estudo (Figura 13), que são informações pouco ou não disponíveis nos estudos analisados. A relação eficácia *versus* concentração, pode observar, por exemplo, na Figura 13E, na qual a menor concentração de SH apresentou baixa eficácia (45,2%) no controle de *Fusarium* spp. em comparação com a maior concentração e uma eficácia maior (84%).

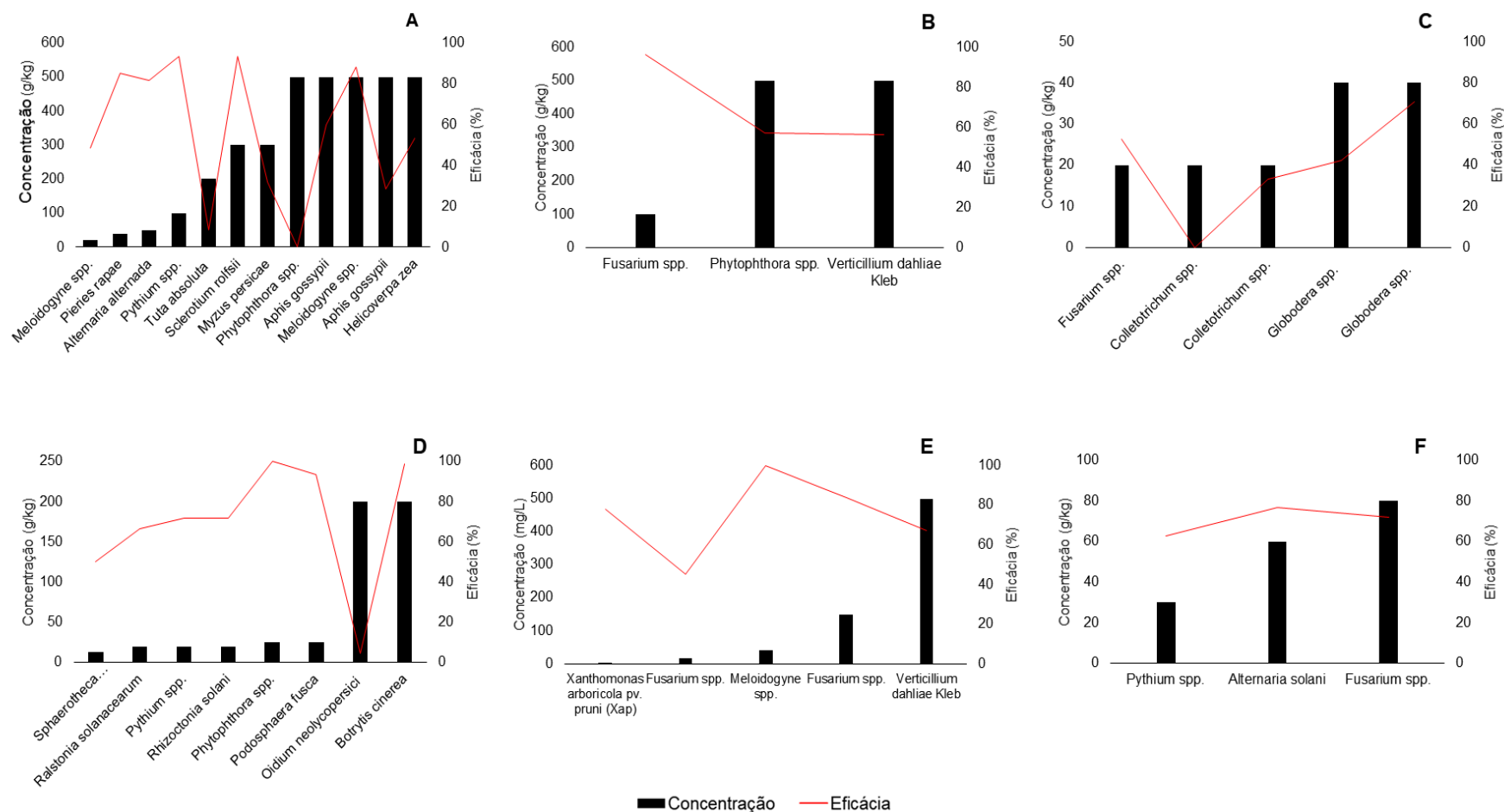


Figura 13. Relação da concentração usada em cada fonte orgânica com sua eficácia no controle de pragas e doenças em plantas, onde: A = Vermicomposto; B = Composto; C = Chá de vermicomposto; D = Chá de composto; E = Substâncias húmicas; F = Outras fontes orgânicas com frequência inferior a 5%.

A

Agente causal	Fonte orgânica combinada	Concentração	Eficácia (%)
Fusarium spp.	Vermicomposto e Pseudomonas spp.	150 g/kg	70
Pythium spp.	Vermicomposto e Trichoderma asperellum	200 g/kg	100
Fusarium spp.	Vermicomposto e Trichoderma harzianum	500 g/kg	83
Fusarium spp.	Composto e Trichoderma asperellum	1kg/m ²	41
Alternaria solani	Composto e Trichoderma asperellum	NI	0
Fusarium spp.	Fertilizante orgânico e B. amyloliquefaciens	NI	70
Sclerotium rolfsii	Ácido húmico e fungos micorrízicos	1 mg/L	43
Plutella xylostella	Vermicomposto e ácido húmico	300 g/kg +200mg/L	41
Meloidogyne spp.	Vermicomposto + chá de vermicomposto	100 g/kg	99

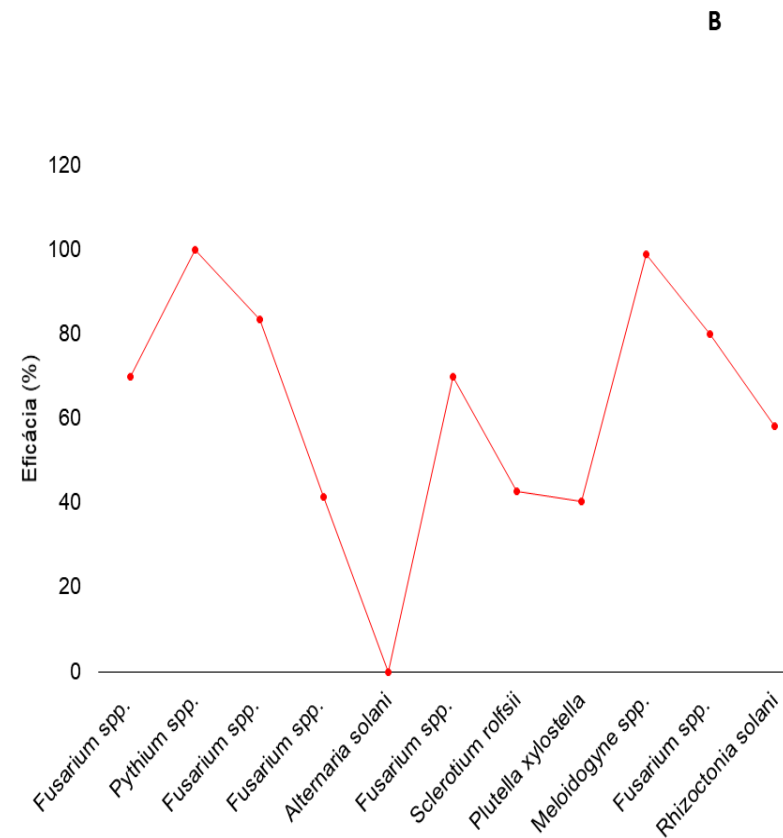


Figura 14. A - Relação do efeito de fontes orgânicas em combinações sobre a eficácia no controle de pragas e doenças em plantas; B- Representação gráfica da variação na eficácia de diferentes fontes orgânicas em combinações, no controle de pragas e doenças em plantas. Precisa informar o que é NI.

5. DISCUSSÃO

A meta-análise realizada permitiu mostrar que há uma grande variação na eficiência de diferentes fontes orgânicas no controle de pragas e doenças em plantas cultivadas. Todavia, o seu uso para reduzir ou inibir a ocorrência desses estresses bióticos apresenta um grande potencial para a mitigação do uso de agrotóxicos na produção de alimentos. Ainda há algumas lacunas a serem preenchidas.

Segundo o levantamento realizado pela Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAOSTAT, 2019), o continente Asiático é responsável por 52,8 % do uso de agrotóxicos no mundo, seguido pelas Américas (30%), Europa (13,7%), África (2,2 %) e, por último, Oceania (1,3%) (FAOSTAT, 2019). O uso elevado de agrotóxicos e o clima predominantemente quente do continente Asiático provavelmente seja responsável pelo maior número de estudos encontrados.

Dentre os países do continente Asiático, a China ocupa lugar de destaque em nível mundial no uso de agrotóxicos (FAOSTAT, 2021). Com o objetivo de diminuir o uso de produtos sintéticos e promover o uso de produtos de base biológica, o Ministério da Agricultura Chinês introduziu, no ano de 2015, a “Política de Crescimento Zero de Agrotóxicos e Fertilizantes até 2020”. No ano anterior (2014), o país consumia, em média, 13,36 kg de agrotóxicos por hectare. Após a iniciativa governamental, houve uma redução de 2,32% e permaneceu em estabilidade (FAOSTAT, 2019). A China está entre os países com maior número

de estudos incluídos nesta meta-análise sobre o uso de fontes orgânicas no controle de pragas e doenças, depois da Indonésia e Irã.

No Brasil, o uso de fontes orgânicas para o controle de pragas e doenças, embora seja uma prática muito usada em produção de pequena escala, ainda é pouco difundida, sendo o país com o menor número de estudos, principalmente em sistemas de produção em larga escala. Recentemente, o Ministério da Agricultura (2020) lançou o Programa Nacional de Bioinsumos, que visa estimular a pesquisa, a produção e o uso de bioinsumos, para o desenvolvimento sustentável da agropecuária do Brasil. O objetivo da iniciativa é aproveitar o potencial da biodiversidade brasileira para reduzir a dependência dos produtores rurais em relação aos insumos químicos importados.

Essa iniciativa governamental tem potencial para promover o número de pesquisas com o uso de fontes orgânicas no controle de pragas e doenças. Mas, a liberação de agrotóxicos para uso na agricultura vai na contramão da proposta. Só no ano de 2020, foi autorizado o registro de 493 agrotóxicos no Brasil; maior número dos últimos dez anos. A maioria (50,9 %) dos agrotóxicos registrados para uso está incluída nas classes de altamente e muito perigoso ao meio ambiente e somente 18,8% são produtos de origem biológica de baixo risco ao homem e ao meio ambiente. Nenhum produto biológico tem origem da matéria orgânica e suas frações (Ministério da Agricultura do Brasil, 2020).

Nas áreas marginais de produção agrícola, a incidência de estresse abiótico (principalmente seca, temperaturas extremas e baixa fertilidade natural) costuma ser o principal agente de redução de safras (Ewel, 1999), assim como no início dos processos de transição para as agriculturas de base ecológica. As estratégias de mitigação envolvem a fertilização química e irrigação no manejo convencional e recuperação e otimização da ciclagem de nutrientes e armazenamento da água por conta do manejo da matéria orgânica nos sistemas alternativos.

Com a superação paulatina dos danos causados pelos agentes de estresse abiótico, os agentes de estresse biótico começam a ganhar protagonismo e aumentar significativamente a sua incidência e magnitude de danos. Na agricultura convencional, o combate é feito com uso de agrotóxicos que vão perdendo eficiência ao longo do tempo, além de muitas outras externalidades negativas discutidas na introdução deste trabalho. O manejo integrado de pragas e doenças

foi uma estratégia que não resultou na diminuição do uso de agrotóxicos por uma série de motivos, entre os mais importantes a ausência de pessoal especializado e ao aumento do trabalho de inspeção (Matson et al., 1997).

O controle biológico parece ser a estratégia mais eficaz, porém hoje restrita a poucos agentes causais e com custo tão ou mais elevado que os agrotóxicos convencionais. Os benefícios promovidos à saúde humana e ambiental pelo controle biológico deveriam ser recompensados por um bônus pelo seu uso. Porém, na realidade a agricultura, pelo menos a de base familiar, é economicamente e tecnologicamente afastada desse meio de controle. Nesse contexto, o estudo do uso de matéria orgânica e suas frações no controle de pragas e doenças ganha relevância, dada a alta eficiência relativa, baixo custo e autonomia do agricultor. Segue-se, portanto, interpretação dos principais resultados obtidos com essa meta-análise:

5.1. Principais fontes orgânicas usadas no controle de pragas e doenças

As fontes orgânicas com maiores frequências no conjunto de dados analisados, foram: o VC, chás e as SH, respectivamente (Figura 3). Além dessas, é frequente, o uso de fontes orgânicas combinadas com microrganismos benéficos e ou outra fonte orgânica (Figura 14).

O VC tem sua origem a partir de uma técnica conhecida como vermicompostagem. É um processo que usa minhocas para transformar resíduos orgânicos em um produto secundário denominado vermicomposto (Edwards e Arancon, 2004; Blouin et al., 2019). Este produto possui características importantes que podem estar relacionadas ao seu uso potencial no controle de pragas e doenças em plantas (Figura 4A), como sua riqueza em micro e macronutrientes (como: Ca, Mg, Zn, B, P, K, N etc.), presença de bactérias fixadoras de nitrogênio e bactérias solubilizadoras de fosfato (Yatoo et al., 2020), presença de substâncias como auxinas, giberelinas, citocininas, vitaminas, AH e enzimas defensivas (Ravindran et al., 2016). Yatoo et al. (2021) reportam em uma revisão recente o papel do vermicomposto e seu extrato aquoso, o chá de vermicomposto, no manejo sustentável no controle de pragas e doenças, de solo e da parte aérea das plantas.

Assim como o chá de vermicomposto, o chá de composto (CC) é um extrato aquoso (Riggle 1996; Ksheem et al., 2015) que também foi utilizado para corrigir a deficiência de nutrientes durante a fase de crescimento e desenvolvimento de

plantas e/ou no controle orgânico de pragas e doenças em cultivos (Islam et al., 2016). Pode ser aplicado via solo, transportando nutrientes e microrganismos a rizosfera da planta (Bess, 2000) ou pulverizado na superfície das folhas, onde ocorre a inoculação de microrganismos benéficos que são antagônicos a vários fitopatógenos (Pane et al., 2011) e por meio do fornecimento dos seus subprodutos (nutrientes e outros compostos orgânicos) ajudam na sobrevivência dos microrganismos da filosfera (superfície foliar) (Islam et al., 2016).

Seu uso via foliar tem apresentado alta eficiência no controle de doenças foliares (Koné et al., 2010; Sang e Kim, 2011). A sua composição microbiana é o fator mais relatado como o que influencia a eficácia dos chás de composto na inibição do desenvolvimento de patógenos de plantas (Koné et al., 2010). Os microrganismos presentes no chá podem atuar como antagonistas de patógenos através de sua capacidade de competir por espaço e nutrientes (Al-Mughrabi et al., 2008), destruir patógenos por parasitismo (El-Masry et al., 2002), produzir compostos antimicrobianos, ou para induzir resistência sistêmica em plantas (Zhang et al., 1998).

O modo de ação do CC para a inibição de doenças não é bem conhecido (Scheuerell & Mahaffee, 2002). Porém, uma teoria é que as propriedades físico-químicas dos nutrientes e das SH presentes no CC podem melhorar o conteúdo nutricional das plantas, induzir resistência sistêmica contra o patógeno e / ou ser diretamente tóxicas para o patógeno vegetal (Koné et al., 2010). Outra teoria é que os CC na superfície das folhas favorecem o crescimento de microrganismos benéficos, agindo assim como um agente de biocontrole de patógenos (Dianez et al., 2007).

Por sua vez, as SH são a maior parte da matéria orgânica de solos, águas, sedimentos e compostos e vermicompostos e são altamente complexas e biologicamente ativas (Canellas e Olivares, 2014). As SH são operacionalmente classificadas de acordo com a sua solubilidade: Ácidos húmicos (AH): insolúveis em $\text{pH} < 2,0$; ácidos fúlvicos (AF) solúveis em qualquer valor de pH e, (AF) e a huminas insolúveis em qualquer valor de pH (Schnitzer, 1978; Stevenson, 1994). O papel das SH na atividade biológica das plantas está fortemente relacionado à sua composição química (Canellas et al., 2012; García et al., 2019). Seu potencial efeito, depende do modo de aplicação das SH nas plantas, do conteúdo de moléculas bioativas, da fonte, da concentração, da espécie vegetal e independe da

massa molecular da fração húmica (Canellas et al., 2010; Nardi et al., 2021). Indiretamente, as SH estão associadas aos efeitos de outras fontes orgânicas tais como o vermicomposto e o chá de composto no controle de pragas e doenças em plantas, uma vez que essas moléculas compõem o material orgânico estabilizado.

As SH podem induzir o sistema de defesa da planta contra microrganismos nocivos atuando diretamente na inibição desses organismos ou induzindo o crescimento de microrganismos com ação antagônica ao patógeno, permitindo assim maior proteção para a planta (Pereira et al., 2021).

As fontes orgânicas como elicitores de resistência em plantas se destacam como uma importante biossolução para a atual conjuntura na agricultura mundial, que tem buscado estratégias para reduzir o uso de agrotóxicos na produção agrícola e mitigar seus efeitos deletérios. Na agricultura industrializada, o custo de produção tem se elevado cada vez mais pela necessidade do uso intensivo de agrotóxicos no controle de pragas e doenças nas lavouras, se agravando ainda mais nas últimas safras, pela alta no preço dos insumos agrícolas, destacando a necessidade urgente de desenvolver uma estratégia eficiente para controlar, suprimir a doença (CONAB, 2021).

Buscar alternativas para a esse modelo de agricultura convencional, é urgente e necessário, além da busca pela sustentabilidade agrícola, é uma busca também da autonomia do agricultor. Dessa forma, o uso dessas fontes orgânicas na agricultura, tanto para suprir as exigências nutricionais das culturas durante o crescimento e desenvolvimento, quanto para reduzir os efeitos dos estresses bióticos e abióticos, pode substituir parcialmente ou totalmente o uso de agrotóxicos, é a garantia da independência do agricultor e de uma agricultura mais ecológica e justa.

5.2. Como a matéria orgânica atua na inibição de pragas e doenças?

A meta-análise conduzida indicou que a MO foi mais frequentemente usada para o controle de doenças fúngicas (Figura 9). Sabe-se que as doenças fúngicas que acometem lavouras têm efeitos adversos no crescimento e na produtividade das culturas afetadas (Li et al., 2017). Nos últimos anos, os danos decorrentes da presença desses patógenos nas lavouras têm se tornado cada vez mais sérios, constituindo um gargalo importante para o desenvolvimento de uma agricultura sustentável (Marin-Menguiano et al., 2019).

Entre os agentes causais, o *Fusarium* spp. foi o que apresentou maior frequência nos estudos (Figura 4B). As espécies *Fusarium* têm uma ampla gama de hospedeiros e a maioria das doenças de plantas é causada por *Fusarium solani* (50%) e por *Fusarium oxysporum* (20%) (Kosmidis & Denning, 2017). Além do *Fusarium* spp., o *Pythium* spp., *Alternaria solani* e *Rizhoctonia solani*, estão em destaque entre os agentes causais pertencentes aos fungos mais estudados, respectivamente (Figura 4B).

O *Fusarium* spp., o *Pythium* spp. e a *Rizhoctonia solani* constituem o grupo dos principais fungos patogênicos do solo (van West et al., 2003; Michielse et al., 2009; Gonzalez et al., 2011), enquanto, fungos do gênero *Alternaria*, estão entre os fitopatógenos mais comuns em doenças foliares em hortaliças (Töfoli & Domingues, 2006). Uma infecção fúngica pode causar uma necrose local ou extensa em plantas e inibir o crescimento normal (hipotrofia) ou induzir o crescimento anormal excessivo (hipertrofia ou hiperplasia) em uma parte da planta ou por inteiro. Os sintomas associados à necrose incluem manchas nas folhas, ferrugem, crosta, podridões, amolecimento, antracnose, morte e cancro (Pelczar et al., 2021).

Embora somente dois estudos incluídos na meta-análise reportaram o efeito de fontes de matéria orgânica no controle de doenças bacterianas, no geral, as doenças bacterianas apresentam difícil controle. Isso é parcialmente atribuível à velocidade de invasão conforme as bactérias entram nas aberturas naturais ou feridas das plantas (Pelczar et al., 2021).

A murcha bacteriana é uma das doenças transmitidas pelo solo mais agressiva causada por *Ralstonia solanacearum* e representa uma séria ameaça à família Solanaceae (Jiang et al., 2017; Ding et al., 2013), pois sobrevive por muito tempo no solo, mesmo na ausência de um hospedeiro específico (Choudhary et al., 2018). Embora vários métodos tenham sido usados para controlar a doença, nenhum deles ainda é totalmente eficaz (Chaudhary et al., 2021). O incremento de matéria orgânica no solo oferece uma prática de manejo que aumenta o antagonismo microbiano contra *Ralstonia solanacearum* (Mengesha et al., 2017).

Assim como a *Ralstonia solanacearum*, a bactéria do gênero *Xanthomonas* é um patógeno altamente especializado em infectar espécies da família Rosaceae e é responsável por perdas econômicas importantes em culturas desta família em todo o mundo, causando a doença da mancha bacteriana. O impacto econômico da doença é resultado da redução da qualidade e comercialização dos frutos,

redução da produtividade do pomar e aumento dos custos de produção do viveiro (Stefani, 2010). Giovanardi et al. (2016) confirmaram por meio de análises de transcriptômica que a aplicação de SH atuou como indutor de resistência a *Xanthomonas arboricola* em pessegueiro, induzindo genes envolvidos na resposta direta da planta a patógenos. Silva et al. (2021b) também relatam sobre o uso de AH combinado com *Herbaspirillum seropedicae*, como um elicitor biótico em tomate contra doença bacteriana, causada por *Xanthomonas*.

Atualmente, evidências têm mostrado que o vermicomposto, compostado na presença de minhoca, é superior ao composto convencional em termos de solo e fitossanidade (Pathma & Sakthivel, 2012; Doan et al., 2013; Song et al., 2015; Yang et al., 2015). O intestino das minhocas contém uma ampla gama de microrganismos, enzimas e hormônios que auxiliam na rápida decomposição do material semidigerido, transformando-os em vermicomposto em pouco tempo (cerca de 4-8 semanas) (Nagavallema et al., 2004) em comparação com o processo de compostagem tradicional, que aproveita apenas os micróbios e, portanto, requer um período prolongado (cerca de 20 semanas) para a produção do composto (Bernal et al. 1998; Sánchez-Monedero et al. 2001).

Os nematoides têm sido uma preocupação crescente para os produtores, pois as principais formas de controle químico estão desaparecendo gradualmente (Collange et al., 2011). O uso de fontes orgânicas no controle de nematoides tem sido bem reportado na literatura (Akhtar et al., 1993; Widmer et al., 2002; Abd-Elgawad 2021). Seenivasan & Senthilnathan (2017) sugeriram o uso de AH, não só no controle de nematoides na banana, como também no estímulo ao crescimento. A aplicação de vermicomposto também tem efeito de supressão de nematoides em plantas de tomate (Xiao et al., 2016). Além disso, vários resultados prévios também sugeriram que as SH abundantes em hormônios como auxinas, citocininas e giberelinas como os presentes no vermicomposto também podem suprimir a infestação de nematoides (Arancon et al., 2006; Oka, 2010).

O vermicomposto aplicado via solo em plantas também é capaz de reduzir os danos dos pulgões em plantas de pimentão (*Capsicum annuum*) (Mardani-Talaei et al., 2017) e em repolho (Arancon et al., 2007). O modo de ação da matéria orgânica e suas frações na inibição de doença em plantas ainda é especulativo, porém, diante dos estudos apresentados nesta meta-análise, possivelmente a

presença dessas moléculas pode interferir nos mecanismos de defesa das plantas, tanto na SAR, quanto na ISR.

5.3. Relação das principais culturas e a eficácia das fontes orgânicas usadas no controle de pragas e doenças em plantas

A família Solanaceae destaca-se com maior frequência nos estudos aqui considerados, seguida pela família das Cucurbitaceae, Asteraceae e Fabaceae, respectivamente (Figura 5). Estas compõem o grupo das principais culturas produzidas em regime de agricultura familiar no Brasil, especialmente representadas pelo tomate, batata inglesa, pepino, melão, alface e feijão (MAPA, 2021), com potencial para utilização de fontes orgânicas no controle de pragas e doenças de solo e da parte aérea, dada a notoriedade dessas culturas na produção dos alimentos que são disponibilizados para o consumo da população brasileira.

O vermicomposto, fonte orgânica com maior frequência nos estudos (Figura 3), também apresentou uma maior diversidade no número de famílias de plantas estudadas (Figura 5) no controle de pragas e doenças, seguido pelas SH, que embora com uma frequência inferior à do vermicomposto nos estudos compilados, também apresentaram diversidade no número de famílias estudadas. Além disso, foi a fonte orgânica com maior média de eficácia (74,9%) no controle de pragas e doenças, especialmente no controle de doenças fúngicas e bacterianas.

O potencial das fontes orgânicas em mitigar a incidência de doenças e pragas em plantas, está relacionado com a origem do material orgânico e seu grau de decomposição, e seu efeito pode variar amplamente entre os tipos de patógenos (Bonanomi et al., 2020). Compostos orgânicos, tanto em estágio inicial de decomposição como os compostos orgânicos maduros, tiveram efeito supressor para *Ralstonia solani*. Compostos orgânicos parcialmente decompostos foram mais propícios para o desenvolvimento da doença (Tuitert et al., 1998).

De fato, o estágio de decomposição de diferentes fontes orgânicas pode ter um efeito significativo, na capacidade de supressão do patógeno, quando se comparam diferentes estudos (Bananomi et al., 2010). Relacionando o efeito supressor de diferentes fontes orgânicas ao seu estágio de decomposição, o húmus foi a fonte orgânica que se apresentou mais consistente na capacidade de

supressão de patógenos (Bonanomi et al., 2020), indicando o importante papel das SH na supressão de doenças em plantas.

O grau de decomposição da matéria orgânica é um fator muito importante na eficácia do seu uso no controle de pragas e doenças em plantas, pois influencia significativamente na composição química e microbiana. Neste contexto, uma importante variável relacionada à eficácia das fontes orgânicas é a concentração usada em cada espécie vegetal sob ataque de patógenos. Xiao et al. (2016) e Castro et al. (2011), por exemplo, investigando o uso de vermicomposto de esterco de bovino, usaram concentrações diferentes em seus respectivos estudos para redução da infestação de *Meloidogyne incognita* em tomateiro e, obviamente, obtiveram resultados diferentes. A menor concentração (20 g Kg⁻¹) apresentou baixa eficácia (48,8%) no controle de nematoides em relação à maior concentração (500 g Kg⁻¹), usada por Castro et al. (2011), com eficácia alta (88,1%). Xiao et al. (2016) observaram que a concentração usada induziu o mecanismo de defesa das plantas de tomate à infestação nematoides de solo.

A principal via de aplicação das diferentes fontes de matéria orgânica foi via solo com o objetivo de inibir a ocorrência de patógenos no mesmo, tais como principalmente doenças fúngicas (*Fusarium* spp.) e nematoides. A aplicação foliar foi mais usada para o controle de doenças foliares fúngicas e bacterianas e contra insetos-praga. A aplicação via semente foi outra opção observada no conjunto de dados analisados, porém, com frequência inferior a 5%, sendo, portanto, considerada junto com a aplicação via foliar, uma vez que, foi usada em combinação com a aplicação via foliar no controle de podridão radicular em feijão, importante cultura da família Fabaceae.

Considerando o conjunto de dados analisados, foi observado um efeito significativo do tratamento com diferentes tipos de matéria orgânica no controle de pragas e doenças em todas as famílias estudadas (Figura 6). A solanaceae, embora seja a família com maior número de estudos, apresentou uma porcentagem média de inibição de pragas e doenças de 70,6%, inferior às Cucurbitaceae (80,1%) e Asteraceae (85,3%), que apresentaram as maiores médias. A menor média de controle (53,5%) foi encontrada na família das fabaceae (Figura 6). A baixa porcentagem de inibição da família Fabaceae, em relação à família Asteraceae (com o mesmo tamanho amostral), pode estar relacionada com a fonte orgânica usada, o modo de aplicação e o agente causal estudado. Para o controle de

Fusarium spp. em plantas de grão de bico e feijão comum, ambos da família Fabaceae, foram usados o vermicomposto combinado com *Pseudomonas* spp. e AH, respectivamente. A porcentagem de inibição de *fusarium* spp., do vermicomposto aplicado via solo foi maior (70%) do que quando aplicado AH via semente e uma posterior aplicação via foliar em plantas de feijão (45,2%) (El-Mohamedy RSR et al., 2017; Sahni S et al., 2021).

5.4. Uso de matéria orgânica na ativação de mecanismos de resistência sistêmica em plantas

Nas últimas décadas, um progresso considerável foi feito em estudos de respostas induzidas em plantas contra diferentes estresses, se tornando um tópico importante na construção de uma agricultura ecológica (War et al., 2012), especialmente na mitigação de estresses bióticos e uma possível redução no uso de agrotóxicos na produção agrícola. O uso de matéria orgânica vem sendo bem reportado como uma opção importante a ser considerada na indução de resistência em plantas (Tabela 1).

A indução de SAR em plantas cultivadas pelo uso de matéria orgânica é muito pouco reportada, tanto que no conjunto total de dados analisados nesta meta-análise, nenhum estudo citou como elicitora de SAR (Tabela 1). Estudos mais recentes, como o de De Hita et al. (2020), relataram o aumento de SA e JA em plantas de pepino, 24 e 72 horas após a aplicação de AH via foliar, respectivamente, indicando um possível efeito na ativação das vias de sinalização SA e JA como uma resposta de defesa das plantas (Nazar et al., 2017; Wasternack e Hause, 2013). Baseado nas evidências encontradas na literatura, com o envolvimento das SH com enzimas defensivas e a via hormonal do SA, a matéria orgânica humificada pode ter envolvimento com a SAR, mas é necessário a comprovação através de estudos específicos.

No geral, a maioria dos estudos compilados nesta meta-análise indicou os mecanismos de resistência ativados pelas fontes orgânicas, de forma direta ou indireta, a partir da eficiência que o material apresentou no controle de pragas e doenças em plantas (Tabela 1). Dentre os autores que indicaram o mecanismo de forma direta, ou seja, através do uso de marcadores que apontam para a indução de resistência das plantas contra o ataque de patógenos, compõem um total de cinco estudos, demonstrando a enorme lacuna nesse campo de estudo, em relação

ao tipo de mecanismo de resistência que uma fonte de matéria orgânica induz na planta, embora outros estudos apresentem altas porcentagens de inibição de pragas e doenças em diferentes culturas.

Há um grande número de enzimas associadas à resistência induzida em plantas (Ojaghian et al., 2014), havendo, dessa forma, diferentes meios para obter uma conclusão concreta do uso da matéria orgânica como elicitadora de resistência sistêmica em plantas. Os principais marcadores de indução de resistência em plantas usados para obter resposta indutiva ou não, são por meio de enzimas defensivas, tais como: β -1,3-glucanase, quinases, fenilalanina amônia-liase (PAL), peroxidase (PO), polifenol oxidase (PPO), superóxido dismutase (SOD) e teor total de polifenóis (TPC), além da detecção de genes de resistência. O efeito das SH sobre a indução da atividade da catalase (CAT) foi mostrado por Cordeiro et al. (2011). Plantas tratadas com AH apresentaram aumento da atividade de SOD (superóxido dismutase), CAT (catalase) e APX (ascorbato peroxidase) (Aguiar et al., 2016; Yildiztekin et al., 2018).

As enzimas B-1,3-glucanas e quitinases são PRPs que degradam as paredes celulares de patógenos, liberando moléculas que atuam como elicitoras nos estádios iniciais do processo de indução de resistência com a síntese de fitoalexinas e compostos fenólicos (Silva et al., 2004). As peroxidases desempenham um papel fundamental no crescimento e desenvolvimento das plantas e estão fortemente relacionadas aos mecanismos de defesa contra patógenos (Boava et al., 2010; Kurabachew & Wydra, 2014). Os polifenóis são abundantes nos tecidos infectados e são envolvidos em mecanismos de defesa ou na senescência. A fenilalanina amônia-liase (PAL) é uma enzima amplamente estudada por fisiologistas devido à sua importância fundamental no metabolismo secundário das plantas, especialmente na síntese de compostos de defesa vegetal. Shiavon et al. (2010) foram os primeiros a reportar o envolvimento das SH na indução da transcrição da PAL e aumento de conteúdo de polifenóis em plantas. Khaled et al. (2019) investigaram, através do estudo das enzimas defensivas quitinase, peroxidase e polifenol oxidase, se a aplicação combinada de AH + Fungos micorrízicos arbusculares (FMA), era capaz de induzir o mecanismo de resistência de plantas de alcachofra de Jerusalém (*Helianthus tuberosus*), sob infestação de *Sclerotium rolfsii*, fungo causador da doença podridão do colo. O uso de AH + FMA aumentou a atividade dessas enzimas entre 1,5-2,1 vezes em relação

ao controle, indicando a indução de resistência sistêmica contra a invasão de *S. rolfsii*.

Basco et al. (2017) também observaram a elevação nos níveis de fenilalanina amônia-liase (PAL), peroxidase (PO), polifenol oxidase (PPO), superóxido dismutase (SOD) e teor total de fenóis (TPC), quando foi aplicado vermicomposto combinado com *Trichoderma harzianum* em plantas de tomate, após a infecção de *Fusarium oxysporum* f. sp. *Lycopersici*, via substrato.

Outros estudos analisados nesta meta-análise também testaram diferentes fontes de matéria orgânica em combinações com microrganismos na inibição de doenças causadas por *Fusarium* spp. em plantas, como: Vermicomposto + *Pseudomonas* spp.; Composto + *Trichoderma asperellum*; Fertilizante orgânico + *B. amyloliquefaciens*; Composto + Carvão vegetal, nas respectivas culturas, grão de bico, alho, banana e tomate (Sahni et al., 2021; Ismail et al., 2020; Tao et al., 2020; Akhter et al., 2016).

Além disso, foram usados também as SH, o composto e o chá de vermicomposto no controle de *Fusarium* spp., sendo a maior porcentagem de inibição em mandioca, sob a aplicação de composto orgânico (96,57%), porém em nenhum dos estudos foram avaliados marcadores de indução de resistências em plantas, indicando os mecanismos de resistência de forma indireta, a partir de outras evidências, como, por exemplo, a capacidade da fonte orgânica usada em reduzir a incidência da doença em plantas (Tabela 1) (El-Mohamedy et al., 2017; Afifi et al., 2017; Silva et al., 2017; Akinuoye-Adelabu et al., 2019).

Em plantas de pepino e pimenta, a indução de ISR pela aplicação via foliar de chá de vermicomposto, também foi observada por meio do aumento de enzimas β -1,3-glucanase, quitinase e peroxidase 3 dias após a inoculação com *Colletotrichum coccodes* e *Colletotrichum orbiculare*, agentes causadores da antracnose. Além disso, Sang e Kim (2011), também observaram um aumento na expressão de genes relacionados a patogênese (PR1-1a (Proteína PR); PR-2 (β -1,3-glucanase); PR-3 (quitinase); APOX (Ascorbato peroxidase). Os resultados indicam que o chá de vermicomposto teve resultado direto como agente de biocontrole contra os patógenos fúngicos transportados pelo ar nas plantas com atividade tanto preventiva como curativa (Sang e Kim, 2011).

Xiao et al. (2016) estudaram o uso de vermicomposto como elicitador de resistência a nematoides de galha (*Meloidogyne incognita*) em tomates. A reação

em cadeia da polimerase quantitativa em tempo real (qRT-PCR) foi a ferramenta utilizada para detectar os transcritos de genes envolvidos no metabolismo secundário em raízes, incluindo polifenol oxidase D (PPOD), flavonol sintase (FLS) e gene de resistência RKN (Mi1.2). O gene PPOD envolve o metabolismo de polifenóis e protege as plantas contra o estresse biótico e abiótico, o gene FLS envolve o metabolismo de flavonoides, o gene Mi1.2 pode conferir a resistência específica aos nematoides das galhas *M. incognita*. A aplicação via solo de vermicomposto em plantas de tomate susceptíveis ao nematoide promoveu o aumento da expressão desses genes nas raízes.

Em plantas de tomate, pepino, banana e batata, a aplicação de diferentes tipos de matéria orgânica também foi testada para a inibição de infestação de nematoides (Seenivasan & Senthilnathan, 2017; Renco & Kovacik, 2015; Rostami et al., 2014; e Castro et al. 2011). Apesar de elevadas porcentagens de inibição, há necessidade de mais estudos para indicar o mecanismo de resistência envolvido. Não houve indicação pelos autores em sua maioria, exceto, Castro et al. (2011), que, de forma indireta, indicam que o vermicomposto aplicado via solo em plantas de tomate pode ativar o mecanismo de ISR contra nematoides de galhas (Tabela 1).

Um método inovador e promissor para investigar a ativação de mecanismos de resistências em plantas foi usado por Giovanardi et al. (2016). A abordagem transcriptômica foi implementada para estudar as alterações transcricionais complexas que as SH podem provocar na interação planta-patógeno, especialmente em *Xanthomonas arboricola* pv. *pruni* (*Xap*)- pessegueiro. Foi realizada uma análise de cDNA-AFLP da expressão gênica diferencial em tecido vegetal tratado com AH+AF. Essa análise de cDNA-AFLP-dHPLC permitiu a coleta de quatorze fragmentos derivados de transcritos suprarregulados pertencentes a genes de pêssogo e supostamente envolvidos na resposta de defesa. Os genes foram ativados 24h após o tratamento, desencadeando a resistência sistêmica induzida, notoriamente envolvida na manutenção de um estado de proteção nas plantas contra estresses bióticos. Mengesha et al. (2017) também usaram o chá de composto para inibição de doença bacteriana em plantas de batata, causada pela *Ralstonia solanacearum*. Possivelmente, a aplicação via substrato do chá de composto induziu o mecanismo de resistência sistêmica induzida, alcançando uma porcentagem de inibição de 67%.

Os genes marcadores são ferramentas poderosas para caracterizar a resposta dos organismos a estímulos específicos ou em condições específicas. Diante dos estudos analisados, pode perceber o enorme potencial que diferentes fontes orgânicas em diferentes agentes causais e culturas, podem induzir mecanismos de resistência. Apesar de ter sido poucos autores que concluíram sua indicação de mecanismo de resistência com base em técnicas de maior precisão, como a expressão de genes de resistência e enzimas defensivas, muitos outros estudos indicaram que possivelmente as elevadas porcentagens de inibição, que atingiram uma média geral de 72%, podem estar relacionadas com papel elicitor das fontes orgânicas. Mas, é importante e necessário um maior aprofundamento em pesquisas para compreender essa interação planta-patógeno-fonte orgânica.

5.5. Papel das SH como eliciadores bióticos

As SH foram a fonte orgânica que apresentou maior eficácia (74,9%) no controle de pragas e doenças em plantas, com base no cálculo proposto por Sukanto (2003), destacando o seu potencial de uso como elicitores bióticos que estimulam vias de defesa específicas das plantas (como vias hormonais). Estudos relacionados aos seus efeitos e seu uso na prática como elicitores de resistência em plantas, ainda são escassos.

A partir de evidências experimentais (Piccolo, 2001; 2002), as SH foram definidas como uma associação supramolecular não covalente e complexa de moléculas heterogêneas produzidas ou que sobreviveram à degradação microbiana das plantas e animais. As duas frações solúveis (AF e AH) são caracterizadas como: os AF devem ser associações de pequenas moléculas hidrofílicas que contêm uma densidade de grupos funcionais ácidos tão elevada que mantêm o arranjo solúvel em qualquer valor de pH. Já os AH, associações de compostos predominantemente hidrofóbicos (cadeias polimetilênicas, ácidos graxos, fenóis, esteroides) estabilizados a pH neutro por forças dispersivas fracas (van der Waals, ligações $\pi \rightarrow \pi$, CH- π e pontes metálicas). A conformação cresce progressivamente de tamanho com a formação de ligações de hidrogênio intramoleculares com a diminuição do pH até um valor no qual a estrutura floccula (Piccolo, 2012).

A determinação da bioatividade das SH está relacionada com o equilíbrio dinâmico dos domínios hidrofílicos e hidrofóbicos das conformações HS, que são

controlados pelas condições do solo/planta (pH, umidade, força iônica, exsudatos radiculares, superfícies minerais ativas, etc.), regula a liberação e a mobilidade de pequenas moléculas bioativas e, por fim, determina a atividade de bioestimulação da matéria húmica da planta (Canellas et al., 2012; Voccaro et al., 2015).

As SH podem modificar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, alterar o metabolismo hormonal das plantas, promover o alongamento radicular, aumentar a taxa de germinação, mitigar efeito de estresse osmótico e de metal pesado, e aumento da biomassa (Trevisan et al., 2011; Baldotto e Baldotto, 2014; Canellas et al., 2015; Nardi et al., 2017; Shah et al., 2018; Wong et al., 2020). Além disso, também podem modificar o perfil metabólico das defesas das plantas, o que promove maior resistência contra pragas e doenças (Schiavon et al., 2010; Razmjou et al., 2011). Entre os estudos aqui compilados que usaram as SH, Afifi et al. (2017) e Giovanardi et al. (2016) concluíram de forma direta, ou seja, através do estudo de enzimas defensivas e genes de resistência, que essas moléculas orgânicas podem induzir a ISR em plantas de pepino e pêssego (Tabela 1).

A maior eficácia (100%) entre os estudos analisados usando as SH foi encontrada na aplicação de AH para controle de infestação de nematoides de galha, na cultura da banana. O mecanismo de resistência pelo qual o AH pode estar envolvido não foi estudado pelos autores (Seenivasan & Senthilnathan, 2017). A eficácia das SH pode, além de sua composição química, estar relacionada com a concentração de aplicação. O uso de SH em baixas concentrações em plantas pode promover modificações na fisiologia, morfologia, bioquímica e na expressão de genes das plantas (Canellas & Olivares, 2014). Aqui, as maiores eficácias das SH (100, 84 e 78%) foram em estudos nos quais foram usadas concentrações menores (40 mg L^{-1} ; 150 mg L^{-1} ; 1 mg L^{-1} , respectivamente), em plantas de banana, pêssego e pepino sob infestação de *Meloidogyne* spp., *Xanthomonas arbuticola* e *Fusarium* spp., respectivamente (Figura 13E).

A otimização da concentração de aplicação é um importante ponto a ser discutido, uma vez que a eficácia na supressão de doenças é importante, sem que haja interferência no crescimento das plantas. Uma concentração elevada de SH pode ser fitotóxica, como foi relatado por Bananomi et al. (2020). No entanto, Demir et al. (2015), investigando o uso de AH no controle da podridão das raízes em plantas de tomate, aplicaram uma concentração de 500 mg L^{-1} de AH e obtiveram uma eficácia de 67,2%.

As formas de aplicação mais reportadas nos estudos analisados foram via substrato e via foliar. De Hita et al. (2020) observaram que SH tanto aplicadas no solo quanto via foliar promoveram aumento nos níveis hormonais em plantas de pepino, isto é, citocininas IAA, JA e JA-Ile. O JA é um hormônio envolvido com a ISR. Nesse sentido, mais estudos são necessários para desvendar o papel do JA nos mecanismos de ação da SH, e com isso mais conhecimento sobre seu papel como elicitador biótico da ISR.

Por fim, percebe-se que os estudos sobre os efeitos da aplicação de SH para resistência de plantas a insetos-praga são escassos, assim como também para resistência em doenças, uma vez que foram compilados apenas cinco estudos. Além disso, os estudos fornecem poucas informações a respeito das características químicas das SH que foram aplicadas, tornando um pouco mais obscuro fazer comparações entre as concentrações usadas, a forma de aplicação e a eficácia final alcançada. Assim, merecem maior atenção à medida que esforços são feitos para implementar o uso dessas substâncias em escalas agrícolas maiores.

5.6. Conclusões

Resultados apresentados nesta meta-análise indicam a possibilidade do uso dessas fontes orgânicas como elicitores de resistência em plantas, e reduzir a severidade de doenças e pragas e, não eliminar, ao menos reduzir a carga tóxica e letal dos agrotóxicos comumente aplicados nas culturas agrícolas.

No geral, o efeito médio das fontes orgânicas é maior em doenças, com uma porcentagem de inibição de 75%, enquanto em pragas, 55%. A fonte orgânica mais usada é o vermicomposto, principalmente no controle de pragas. Entretanto, a fonte orgânica mais eficaz entre as fontes orgânicas aqui analisadas foi a SH, que apresentou uma eficácia de 74%, sobretudo, no controle de nematoides e doenças fúngicas e bacterianas em plantas. As concentrações usadas tiveram uma variação de 1 mg L^{-1} a 500 mg L^{-1} . A aplicação via solo de SH (40 mg L^{-1}) tende a diminuir a infestação de nematoides de galhas e via foliar (1 mg L^{-1}) e reduz danos causados por doenças bacterianas. A maior eficácia (100%) das SH foi na aplicação de 40 mg L^{-1} no controle da infestação de nematoides em plantas de tomate.

Existe uma grande variação na eficácia das diferentes fontes orgânicas no controle de pragas e doenças, indicando que ela pode estar relacionada a fatores

que vão desde a sua origem, o agente causal alvo e a cultura. Neste contexto, a forma de aplicação demonstra ser um fator importante a ser considerado.

Contudo, os resultados indicam uma vasta área que ainda precisa ser dominada pela ciência agrária, dada importância do uso promissor da matéria orgânica para o controle de pragas e doenças e a busca por uma agricultura mais sustentável.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora o uso da matéria orgânica na agricultura não seja uma prática recente, ainda há uma falta de conhecimento a respeito de seu uso seguro e adequado, principalmente quando diz respeito ao seu uso no controle de pragas e doenças, atuando como elicitora de resistência sistêmica em plantas. Os resultados apresentados nesta meta-análise deixam evidente o potencial uso da matéria orgânica no controle de pragas e doenças em plantas. No entanto, apontam a necessidade de mais estudos que possam contribuir para a compreensão de como a matéria orgânica pode atuar e de que forma, na indução de resistência sistêmica em plantas.

O uso das tecnologias 'ômicas', como genômica, proteômica, transcriptômica e metabolômica, pode ser uma ferramenta promissora para tal compreensão, permitindo visualizar ou monitorar todas as mudanças que ocorrem quando a genética, o estado nutricional ou o ambiente de um organismo são alterados, revelando, assim, a compreensão das alterações no metabolismo das plantas decorrentes das interações ambientais.

A compreensão do modo de ação da matéria orgânica como elicitora de resistência em plantas tem grande importância na construção de um modelo de agricultura mais sustentável e saudável, tanto para o homem, quanto para o ambiente, podendo contribuir fortemente para a redução parcial ou total do uso de agrotóxicos no controle de pragas e doenças em plantas.

7. REFERÊNCIAS

- Abd-Elgawad, M.M.M. (2021) Optimizing Safe Approaches to Manage Plant-Parasitic Nematodes. *Plants*, 10 (9):1911.
- Abdul, M., Nurul, A., Ilakiya, S.K., and Kalaivani, N. (2020) Elicitor and Receptor Molecules: Orchestrators of Plant Defense and Immunity. *International Journal of Molecular Sciences*, 21 (3):963.
- Afifi, M.M.I., Ismail, A.M., Kamel, S.M., and Essa, T.A. (2017) Humic Substances: A Powerful Tool For Controlling Fusarium Wilt Disease And Improving The Growth Of Cucumber Plants. *Journal of Plant Pathology*, 99 (1): 61-67.
- Aguiar, N.O., Medici, L.O., Olivares, F.L., Dobbss, L.B., Torres-Netto, A., Silva, S.F., Novotny, E.H., Canellas, L.P. (2016) Metabolic profile and antioxidant responses during drought stress recovery in sugarcane treated with humic acids and endophytic diazotrophic bacteria. *Annals of Applied Biology*, 168:203-213.
- Akhtar, M., Alam, M.M. (1993) Utilization of waste materials in nematode control: A review. *Bioresource Technology*, 45:1–7.
- Akinuoye-Adelabu, D.B., Hatting, J., Villiers, C., Terefe, T., and Bredenhand, E. (2019) Effect of Redworm Extracts against Fusarium Root Rot during Wheat Seedling Emergence, *Agronomy journal*, 111(5): 2610-2618
- Akobeng, A.K. (2005) Understanding systematic reviews and meta-analysis. *Archives of Disease in Childhood*, 90:845-853.
- Akram, W., Anjum, T., Ali, B., Ahmad, A. (2013) Screening of native Bacillus strains to induce systemic resistance in tomato plants against Fusarium Wilt in split root system and its field applications. *International Journal of Agriculture and Biology*, 15:1289–1294.

- Al-Dahmani, J.H., Abbasi, P.A., Miller, S.A., Hoitink, H.A.J. (2003) Tomato bacterial spot suppression with foliar spraying of compost extracts in a greenhouse and field. *Plant Disease*, 87 (8):913–921.
- Al-Mughrabi, K.I., Bertheleme, C., Livingston, T., Burgoyne, A., Poirier, R., and Vikram, A. (2008) Aerobic Compost Tea, Compost and a Combination of Both Reduce the Severity of Common Scab (*Streptomyces scabiei*) on Potato Tubers. *Journal of Plant Sciences*, 3:168-175.
- Ali, A.Y.A., Ibrahim, M.E.H., Zhou, G., Nimir, N.E.A., Jiao, X., Zhu, G., Lu, H. (2019) Ameliorative effects of jasmonic acid and humic acid on antioxidant enzymes and salt tolerance of forage sorghum under salinity conditions. *Agronomy Journal*, 111 (6):3099–108.
- Anzures-cabrera, J., and Higgins, J.P.T. (2010) Graphical displays for metaanalysis: An overview with suggestions for practice. *Research Synthesis Methods*, 1(1):66-80.
- Arancon, N.Q., Edwards, C.A., Lee, S., Byrne, R. (2006) Effects of humic acids from vermicomposts on plant growth. *European Journal of Soil Biology*, 42:65-69
- Arancon, N.Q., Edwards, C.A., Yardim, E.M., Oliver, T.J., Byrne, R.J., Keeney, G. (2007) Suppression of two-spotted spider mite (*Tetranychus urticae*), mealy bug (*Pseudococcus* sp) and aphid (*Myzus persicae*) populations and damage by vermicompost. *Crop Protection*, 26(1):29-39.
- Baldotto, M.A., and Baldotto, L.E.B. (2014) Ácidos húmicos. *Revista Ceres*, 61:856–881.
- Basco, M.J., Bisen, K., Keswani, C., Singh, H.B. (2017) Biological management of Fusarium wilt of tomato using biofortified vermicompost. *Mycosphere*, 8(3): 467-483.
- Bendetti, D. (2014) An evaluation of occupational exposures to Pesticides in Brazil. *Occupational Medicine & Health Affairs*, 2:170
- Bess, V.H. (2000) Understanding compost tea. *Biocycle*, 41(10):71-72.
- Bernal, M.P., Faredes, C., Sanchez-Monedero, M.A., Cegarra, J. (1998) Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic wastes. *Bioresource Technology*, 63:91–99.
- Bhattacharya, A., Giri, V.P., Singh, S.P., Pandey, S., Chauhan, P., Soni, S.K., Srivastava, S., Singh, P.C., Mishra, A. (2019) Intervention of bio-protective endophyte *Bacillus tequilensis* enhance physiological strength of tomato during Fusarium wilt infection. *Biological control*, 139:104074.
- Blouin, M., Barrere, J., Meyer, N., Lartigue, S., Barot, S., Mathieu, J. (2019) Vermicompost significantly affects plant growth. A meta-analysis. *Agronomy for Sustainable Development*, 39:34-51.
- Boava, L.P., Kuhn, O.J., Pascholati, S.F., Di Piero, R.M., Furtado, E.L. (2010) Effect of biotic and abiotic inducers on the activities of chitinase and peroxidase and

rust control caused by *Puccinia psidii* on Eucalyptus. *Summa Phytopathologica*, 36(2):168-172.

Bonanomi, G., Zotti, M., Idbella, M., Di Silverio, N., Carrino, L., Cesarano, G., et al. (2020) Decomposition and organic amendments chemistry explain contrasting effects on plant growth promotion and suppression of *Rhizoctonia solani* damping off. *PLoS ONE* 15(4): e0230925.

Bonanomi, G., Antignani, V., Capodilupo, M., Scala, F. (2010) Identifying the characteristics of organic soil amendments that suppress soilborne plant diseases. *Soil Biology and Biochemistry*, 42(2):136-144.

Bonanomi, G., Antignani, V., Pane, C., Scala, F. (2007) Suppression of soilborne fungal diseases with organic amendments. *Journal of Plant Pathology*, 89(3): 311-324

BRASIL. Decreto nº 4.074, de 4 de janeiro de 2002. Regulamenta a Lei no 7.802, de 11 de julho de 1989, que dispõe sobre a pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem e rotulagem, o transporte, o armazenamento, [...] e a fiscalização de agrotóxicos, seus componentes e afins, e dá outras providências. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, ano 139, n. 5, p. 1-12, 8 jan. 2002.

Bulluck, L.R., Brosius, M., Evanylo, G.K., Ristaino, J.B. (2002) Organic and synthetic fertility amendments influence soil microbial, physical and chemical properties on organic and conventional farms. *Applied Soil Ecology*, 19: 147-160.

Buralli, R.J. (2020) Efeitos na saúde da exposição ambiental e ocupacional a pesticidas agrícolas (Tese). São Paulo, Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo. 193p.

Canellas, L.P., Piccolo, A., Dobbss, L.B., Spaccini, R., Olivares, F.L., Zandonadi, D.B., et al. (2010) Chemical composition and bioactivity properties of size-fractions separated from a vermicompost humic acid. *Chemosphere*, 78:457–466.

Canellas, L.P., Dobbss, L.B., Oliveira, A.L., Chagas, J.G., Aguiar, N.O., Rumjanek, N.O., Novotny, E.H., Olivares, F.L., Spaccini, R., Piccolo, A. (2012) Chemical properties of humic matter as related to induction of plant lateral roots. *European Journal of Soil Science*, 63: 315-324.

Canellas, L.P., Olivares, F.L. (2014) Physiological responses to humic substances as plant growth promoter. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 1:1-12.

Canellas, L.P., Olivares, F.L., Aguiar, N.O., Jones, D.L., Nebbioso, A., Mazzei, P. and Piccolo, A. (2015) Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae*, 196:15–27.

- Cardoza, Y.J. (2010) Arabidopsis thaliana resistance to insects, mediated by an earthworm-produced organic soil amendment. *Pest Management Science*, 67: 233–238
- Carvalho, S.P., Custódio, T.N., Baliza, D.P., Rezende, T. (2012) Meta-análise para estimativas de herdabilidade de caracteres vegetativos e reprodutivos de *Coffea arabica* L. *Semina: Ciências Agrárias*, 33:1291-1298.
- Castro, A.A. (2001) Revisão sistemática e meta-análise. *Compacta: temas de cardiologia*, 3:5-9.
- Castro, L., Flores, L., and Uribe, L. (2011) Efecto del Vermicompost y Quitina sobre el control de *meloïdogyne incognita* en tomate a nivel de invernadero. *Agronomía Costarricense*, 35(2): 21-32.
- Chakraborty, B.N., Chakraborty, U. (2021) Molecular detection of fungal pathogens and induction of phytoimmunity using bioinoculants. *Indian Phytopathology*, 74:307–322.
- Chen, Y.H., Gols, R., and Benrey, B. (2015) Crop domestication and its impact on naturally selected trophic interactions. *Annual Review of Entomology*. 60:35–58.
- Choudhary, D.K., Nabi, S.U., Dar, M.S., Khan, K.A. (2018) *Ralstonia solanacearum*: a wide spread and global bacterial plant wilt pathogen. *Journal of Pharmacognosy and Phytotherapy*, 7:85-90
- Chaudhary, G., Singh, D., Sharma, M. (2021) Effect of chemical elicitors on the differential expression pattern of PR genes in susceptible and resistant cultivars of tomato against bacterial wilt disease caused by *Ralstonia solanacearum*. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 116:101689.
- Cogo, F.D. (2020) Introdução à revisão sistemática e meta-análise aplicadas à agricultura. Dados eletrônicos. – Belo Horizonte: Ed UEMG. 66p.
- Collange, B., Navarrete, M., Peyre, G., Mateille, T., Tchamitchian, M. (2011) Root-knot nematode (*Meloïdogyne*) management in vegetable crop production: The challenge of an agronomic system analysis. *Crop Protection*, 30(10):1251-1262..
- Cordeiro, F.C., Santa-Catarina, C., Silveira, V., De Souza, S.R. (2011) Humic acid effect on catalase activity and the generation of reactive oxygen species in corn (*Zea mays* L.). *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry*, 75: 70–74.
- Costa, W.G. (2018) Meta-análise das estimativas de parâmetros em genótipos de arroz irrigado em Minas Gerais (Dissertação). Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. 94p.
- Cotching, W.E. (2017) Organic matter in the agricultural soils of Tasmania, Australia – A review. *Geoderma*, 312: 170-182.
- Cucu, M.A., Gilardi, G., Pugliese, M., Gullino, M.L., Garibaldi, A. (2020) An assessment of the modulation of the population dynamics of pathogenic

Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici in the tomato rhizosphere by means of the application of *Bacillus subtilis* QST 713, *Trichoderma* sp. TW2 and two composts. *Biological Control*, 142:104158.

- da Silva, M.S.R.D.A., Huertas, T.O.C., Ribeiro, T.G., Silva, C.S.R.A., Silva, C.S.R.A., García-Mina, J.M., Baldani, V.L.D., García, A.C., Berbara, R.L.L., Jesus, E.D.C. (2021a) Humic acids enrich the plant microbiota with bacterial candidates for the suppression of pathogens. *Applied Soil Ecology*, 168:104146.
- da Silva, A.P.S., Olivares, F.L., Sudré, C.P. et al. (2021b) Attenuations of bacterial spot disease *Xanthomonas euvesicatoria* on tomato plants treated with biostimulants. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*. 8:1-8.
- Da Silva, J.N., Araujo, T.C., Ponciano, N.J., Souza, C.L.M. (2020) Diagnóstico do uso de agrotóxicos por tomaticultores do município de São José de Ubá. RJ *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*. 10: 45–50.
- De Hita, D., Fuentes, M., Fernández, V., Zamarreño, A.M., Olaetxea, M., García-Mina, J.M. (2020) Discriminating the short-term action of root and foliar application of humic acids on plant growth: emerging role of jasmonic acid. *Frontiers in Plant Science*, 11(493): 1-14.
- Demir, S., Şensoy, S., Ocak, E., Tüfenkçi, S., Durak, E.D., Erdinç, C., and Ünsal, H. (2015) Effects of arbuscular mycorrhizal fungus, humic acid, and whey on wilt disease caused by *Verticillium dahliae* Kleb. in three solanaceous crops. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 39:300-309.
- Diánez, F., Santos, M., Tello, J.C. (2007) Suppressive effects of grape marc compost on phytopathogenic oomycetes. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 40:1–18.
- Ding, C., Shen, Q., Zhang, R., Chen, W. (2013) Evaluation of rhizosphere bacteria and derived bio-organic fertilizers as potential biocontrol agents against bacterial wilt (*Ralstonia solanacearum*) of potato. *Plant and Soil*, 366:453–466
- Doan, T.T., Ngo, P.T., Rumpel, C., Nguyen, B.V., Jouquet, P. (2013) Interactions between compost, vermicompost and earthworms influence plant growth and yield: a one-year greenhouse experiment. *Scientia Horticulturae*, 160:148-154.
- Dukaré, A.S., Prasanna, R., Dubey, S.C., Nain, L., Chaudhary, V., Singh, R., Saxena, A.K. (2011) Evaluating novel microbe amended composts as biocontrol agents in tomato. *Crop Protection*, 30(4): 436-442.
- Durrant, W.E., Dong, X. (2004) Systemic acquired resistance. *Annual Review of Phytopathology*, 42: 185–209.
- Edwards, C.A., Arancon, N.Q. (2004) Vermicomposts suppress plant pest and disease attacks. *Biocycle*, 45:51–55.

- El-Masry, M.H., Khalil, A.I., Hassouna, M.S., Ibrahim, H.A.H. (2002) In situ and in vitro suppressive effect of agricultural composts and their water extracts on some phytopathogenic fungi. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 18:551–558.
- El-Mohamedy, R.S.R.E., Shafeek, M.R., Abd El-Samad, E.E.H., Salama, D.M., Rizk, F.A. (2017) Field application of plant resistance inducers (PRIs) to control important root rot diseases and improvement growth and yield of green bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *AJCS*, 11(05):496-505.
- Epstein, E., Taylor, J.M., Chaney, R.L. (1976) Effects of sewage sludge compost applied to soil physical and chemical properties. *Journal Environmental Quality*, 5: 422-426.
- Eurostat. (2019) Agri-environmental indicator - consumption of pesticides - Statistics Explained. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Agri_environmental_indicator_-_consumption_of_pesticides#Key_messages. Acessado: 2021-08-30
- Ewel, J.J. (1999) Natural systems as models for the design of sustainable systems of land use. *Agroforestry Systems* 45: 1-21.
- Eyhorn, F., Muller, A., Reganold, J.P., Frison, E., Herren, H.R., Luttikholt, L., Sanders, J., Scialabba, N.E.H., Seufert, V., Smith, P. (2019) Sustainability in global agriculture driven by organic farming. *Nature Sustainability*, 2: 253–5
- FAOSTAT (2021). <http://www.fao.org/faostat/en/#data/RP/visualize>. Acessado em: 2021-08-26
- García, A.C., van Tol, C.T.A., Santos, L.A., Tavares, O.C.H., Castro, R.N., et al. (2019) Structure-property-function relationship of humic substances in modulating the root growth of plants: a review. *Journal of Environmental Quality*, 48:1622–1632.
- Ghezel, S.N., Wieczorek, K., Steinkellner, S., Hage-Ahmed, K. (2019) Serendipita Species Trigger Cultivar-Specific Responses to Fusarium Wilt in Tomato. *Agronomy*. 9(10):1-17.
- Giovanardi, D., Dallai, D., Dondini, L., Mantovani, V., and Stefani, E. (2016) Elicitation of resistance to bacterial canker of stone fruits by humic and fulvic acids (glucohumates): a cDNA-AFLP-dHPLC approach. *Scientia Horticulturae*, 212: 183–192.
- Gonzalez, M., Pujol, M., Metraux, J. P., Gonzalez-Garcia, V., Bolton, M.D., and Borrás-Hidalgo, O. (2011) Tobacco leaf spot and root rot caused by *Rhizoctonia solani* Kuhn. *Molecular Plant Pathology*, 12:209–216.
- Han, D.Y., Coplin, D.L., Bauer, W.D., Hoitink, H.A.J. (2000) A rapid bioassay for screening rhizosphere microorganisms for their ability to induce systemic resistance. *Phytopathology*, 90: 327-332.

- Hartmann, M., Frey, B., Mayer, J., Mader, P., Widmer, F. (2015) Distinct soil microbial diversity under long-term organic and conventional cultivation. *Multidisciplinary Journal of Microbial Ecology*, 9:1177–1194.
- Hiddink, G.A., Van Bruggen, A.H.C., Termorshuizen, A.J., Raaijmakers, J.M., Semenov, A.V. (2005) Effect of organic soil management on suppressivity for *Gaeumannomyces graminis* var. *Tritici* and its antagonist, *Pseudomonas fluorescens*. *European Journal of Plant Pathology*, 113: 417–435.
- Hvězdová, M., Kosubová, P., Košíková, M., Scherr, K.E., Šimek, Z., Brodský, L., Šudoma, M., Škulcová, L., Sáňka, M., Svobodová, M., Krkošková, L., Vašíčková, J., Neuwirthová, N., Bielská, L., Hofman, J. (2018) Currently and recently used pesticides in Central European arable soils. *Science of the Total Environment*, 613–614:361–372.
- Jafary-Jahed, M., Razmjou, J., Nouri-Ganbalani, G., Naseri, B., Hassanpour, M. (2020) Bottom-up effects of organic fertilizers on *plutella xylostella* with selected cruciferous crop plants. *Journal of the Lepidopterists' Societ*, 74(1):7-17.
- Jiang, G., Wei, Z., Xu, J., Chen, H., Zhang, Y., She, X., Macho, A.P., Ding, W., Liao, B. (2017) Bacterial wilt in China: history, current status, and future perspectives. *Frontiers in Plant Science*, 8:1-10.
- Johnston, A.E., Poulton, P.R, Coleman, K. (2009) Soil organic matter: its importance in sustainable agriculture and carbon dioxide fluxes. *Advances in Agronomy*, 101:1-57.
- Jones, J.D.G., Dangl, J.L. (2006) The plant immune system. *Nature*, 444: 323-329,
- Kab, S., Moisan, F., Elbaz, A. (2017) Farming and incidence of motor neuron disease: French nationwide study. *European Journal of Neurology*, 24:1191–1199.
- Kachuri, L., Harris, M.A., MacLeod, J.S., Tjepkema, M., Peters, P.A., Demers, P.A. (2017) Cancer risks in a population-based study of 70,570 agricultural workers: results from the Canadian census health and Environment cohort (CanCHEC). *BMC Cancer*, 17:1-15.
- Keswani, C., Mishra, S., Sarma, B.K., Singh, S.P., Singh, H.B. (2014) Unraveling the efficient applications of secondary metabolites of various *Trichoderma* spp. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 98 (2):533-544.
- Khush, G.S. (2001) Green revolution: the way forward. *Nature Reviews Genetics*, 2: 815–822.
- Khaled, E.E., Mohamed, H.H.A., Enas, M.M., Mahran, M.E., Ahmed, A.A., Basma, H.A., Ibrahim, M., Maha, M.A. (2019) Arbuscular mycorrhiza and environmentally biochemicals enhance the nutritional status of *Helianthus tuberosus* and induce its resistance against *Sclerotium rolfsii*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 196:1-12.

- Ksheem, A.M., Bennett, J.McL., Antille, D.L., Raine, S.R. (2015) Towards a method for optimized extraction of soluble nutrients from fresh and composted chicken manures. *Waste Management*, 45:76-9.
- Koné, S.B., Dionne, A., Tweddell, R.J., Antoun, H., Avis, T.J. (2010) Suppressive effect of non-aerated compost teas on foliar fungal pathogens of tomato. *Biological Control*, 52 (2):167-173.
- Kosmidis, C., and Denning, D.W. (2017) Opportunistic and systemic fungi. In: *Infectious diseases*, p. 1681-1709.
- Kurabachew, H., Wydra, K. (2014) Induction of systemic resistance and defense-related enzymes after elicitation of resistance by rhizobacteria and silicone application against *Ralstonia solanacearum* in tomato (*Solanum lycopersicum*). *Crop Protection*, 57:1-7.
- INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER JOSÉ ALENCAR GOMES DA SILVA (2021). Ambiente, trabalho e câncer: aspectos epidemiológicos, toxicológicos e regulatórios / Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes da Silva. – Rio de Janeiro: INCA, 290p.
- Islam, M.K., Yaseen, T., Traversa, A., Ben, Kheder, M., Brunetti, G., Coccozza, C. (2016) Effects of the main extraction parameters on chemical and microbial characteristics of compost tea. *Waste Management*, 52:62-68.
- Ismail, N., Rosmana, A., Sjam, S., Ratnawati, R. (2020) Shallot Basal Bulb Rot Management through Integration of *Trichoderma asperellum*, Composted Plant Residues and Natural Mulch. *Journal of Pure and Applied Microbiology*, 14 (3):1779-1788.
- Lange, L., Connor, K.O., Arason, S., Bundgård-Jørgensen, U., Canalis, A., Carrez, D., Gallagher, J., Götke, N., Huyghe, C., Jarry, B., Llorente, P., Marinova, M., Martins, L.O., Mengal, P., Paiano, P., Panoutsou, C., Rodrigues, L., Stengel, D.B., van der Meer, Y., and Vieira, H. (2021) Developing a Sustainable and Circular Bio-Based Economy in EU: By Partnering Across Sectors, Upscaling and Using New Knowledge Faster, and For the Benefit of Climate, Environment & Biodiversity, and People & Business. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 8:1-16.
- Larson, S.J., Capel, P.D., Majewski, M.S. (2019) Pesticides in surface waters: Distribution, trends, and governing factors. 1^a ed. Boca Raton: *CRC Press*. 392p.
- Loffredo, E., Berloco, M., Senesi, N. (2008) The role of humic fractions from soil and compost in controlling the growth in vitro of phytopathogenic and antagonistic soil-borne fungi. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 69:350–7.
- Lynch, J.P. (2007) Roots of the second green revolution. *Australian Journal of Botany*, 55: 493–512.

- Marcelino, A.F., Wachtel, C.C., Ghisi, C. (2019) Are our farm workers in danger? Genetic damage in farmers exposed to pesticides. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16 (3):358.
- Martins, C.M.S. (2017) Estoques de carbono no solo sob diferentes sistemas de manejo agrícola no Brasil: uma meta-análise. Tese – Viçosa - MG, Universidade Federal de Viçosa. 90p.
- Manici, L.M., Caputo, F. (2010) Soil fungal communities as indicators for replanting new peach orchards in intensively cultivated areas. *European Journal of Agronomy*, 33: 188-196
- Mardani-Talaei, M., Razmjou, J., Nouri-Ganbalani, G., et al. (2017) Impact of Chemical, Organic and Bio-Fertilizers Application on Bell Pepper, *Capsicum annuum* L. and Biological Parameters of *Myzus persicae* (Sulzer) (Hem.: Aphididae). *Neotropical Entomology*, 46:578–586.
- Marin-Menguiano, M., Morenosanchez, I., Barrales, R.R., Fernandez-alvarez, A., Ibeas, J.I. (2019) N-glycosylation of the protein disulfide isomerase Pdi1 ensures full *Ustilago maydis* virulence. *PLOS Pathogens*, 15:e1007687.
- Matson, P.A., Parton, W.J., Power, A.G. and Swift, M.J. (1997) Agricultural Intensification and Ecosystem Properties. *Science*, 277:504–509.
- McCune, B.E., Mefford, M.J. (2011) PC-ORD. Multivariate Analysis of Ecological Data, versão 6.0 para Windows. *MjM Software*, Gleneden Beach, Oregon, EUA.
- McDonald, B.A., Linde, C. (2002) Pathogen population genetics, evolutionary potential, and durable resistance. *Annual Review of Phytopathology*, 40:349-79.
- Mengesha, W.K., Powell, S.M., Evans, K.J. et al. (2017) Diverse microbial communities in non-aerated compost teas suppress bacterial wilt. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 33:49-61
- Mendes, R., Kruijt, M., de Bruijn, I., Dekkers, E., van der Voort, M., Schneider, J.H.M., Piceno, Y.M., DeSantis, T.Z., Andersen, G.L., Bakker, P.A.H.M., Raaijmakers, J.M. (2011) Deciphering the rhizosphere microbiome for disease-suppressive bacteria. *Science*, 332:1097-1100.
- Michielse, C.B., and Rep, M. (2009) Pathogen profile update: *Fusarium oxysporum*. *Molecular Plant Pathology*, 10: 311–324.
- Mielke, P.W.W., and Berry, J.R.K.J. (2001) Permutation Methods: A Distance Function Approach. 2. ed. New York: *Springer Series in Statistics*, 344 p.
- Mitchell, C., Brennan, R.M., Graham, J., and Karley, A.J. (2016) Plant Defense against Herbivorous Pests: Exploiting Resistance and Tolerance Traits for Sustainable Crop Protection. *Frontiers in Plant Science*. 7:1-8.

- Mishra, A.K., Sharma, K., and Misra, R.S. (2012) Elicitor recognition, signal transduction and induced resistance in plants. *Journal of Plant Interactions*, 7(2): 95-120.
- Mordor Intelligence (2020) Insecticides Market - Growth, Trends, Covid-19 Impact, and Forecasts (2021 - 2026) Acessado em 2/08/2021, em <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/united-states-crop-protection-pesticides-market>
- Mottaghinia, L., Hassanpour, M., Razmjou, J., Hosseini, M., and Chamani, E. (2015) Functional Response of *Aphidoletes aphidimyza Rondani* (Diptera: Cecidomyiidae) to *Aphis gossypii Glover* (Hemiptera: Aphididae): Effects of Vermicompost and Host Plant Cultivar. *Neotropical Entomology*, 45(1):88-95.
- Nascimento, A.F., Alves, A.A., Nunes, H.F., Miziara, F., Parise, M.R., de Melo, Silva, D. (2020) Cultivated areas and rural workers' behavior are responsible for the increase in agricultural intoxications in Brazil? Are these factors associated? *Environmental Science and Pollution Research*, 30:1-8.
- Nardi, S., Schiavon, M., and Francioso, O. (2021) Chemical structure and biological activity of humic substances define their role as plant growth promoters. *Molecules*, 26:2256.
- Nardi, S., Ertani, A., and Francioso, O. (2017) Soil-root cross-talking: the role of humic substances. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 180:5–13.
- Nardi, S., Pizzeghello, D., Schiavon, M., Ertani, A. (2016) Plant biostimulants: physiological responses induced by protein hydro-lyzed-based products and humic substances in plant metabolism. *Scientia Agricola*, 73:18–23.
- Nazar, R., Iqbal, N., Khan, N.A. (2017) Salicylic Acid: A Multifaceted Hormone. 1.ed. Cham: Springer, 242 p.
- Obanor, F.O., Walter, M., Jones, E.E. et al. (2013). Efficacy of systemic acquired resistance inducers in the management of olive leaf spot. *Australasian Plant Pathology*, 42:163–168.
- Ojaghian, M.R., Wang, L., Cui, Z.Q., Yang, C., Zhongyun, T., Xie, G.L. (2014) Antifungal and SAR potential of crude extracts derived from neem and ginger against storage carrot rot caused by *Sclerotinia sclerotiorum*. *Industrial Crops and Products*, 55:(2)130-139.
- Olivares, F.L., Aguiar, N.O., Rosa, R.C.C., Canellas, L.P. (2015) Substrate biofortification in combination with foliar sprays of plant growth promoting bacteria and humic substances boosts production of organic tomatoes. *Scientia Horticulturae*, 183:100–108.
- Olivares, F.L., Busato, J.G., De Paula, A.M., Lima, L.S., Aguiar, N.O., Canellas, L.P. (2017) Plant growth promoting bacteria and humic substances: crop promotion and mechanisms of action. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 4(30):1-13.

- Oliveira, D.C. (2018) Potencial de sequestro de carbono no solo e dinâmica da matéria orgânica em pastagens degradadas no Brasil. Tese- Piracicaba - SP, Universidade de São Paulo, 82p.
- Oka, Y. (2010) Mechanisms of nematode suppression by organic soil amendments—a review. *Applied Soil Ecology*, 44:101-115
- Omuto, C., Nachtergaele, F., Rojas, R.V. (2013) State of the art report on global and regional soil information: Where are we? Where to go?. 1.ed. Roma: FAO, 69p
- Pane, C., Spaccini, R., Piccolo, A., Scala, F., Bonanomi, G. (2011) Compost amendments enhance peat suppressiveness to *Pythium ultimum*, *Rhizoctonia solani* and *Sclerotinia minor*. *Biological control*, 56:115-124
- Pathma, J., Sakthivel, N. (2012) Microbial diversity of vermicompost bacteria that exhibit useful agricultural traits and waste management potential. *Springer Plus*, 1:1-19.
- Pelczar, M.J., Kelman, A., Shurtleff, M.C., and Pelczar, R.M. (2021) Plant disease. *Encyclopedia Britannica*. <https://www.britannica.com/science/plant-disease>. Acessado em 31 de novembro de 2021.
- Pertali, G.B., Cattafesta, M., Luz, T.C., Zandonade, E., Bezerra, O.M.P.A., Salaroli, L.B. (2018) Exposição ocupacional a agrotóxicos, riscos e práticas de segurança na agricultura familiar em município do estado do Espírito Santo, Brasil, *Revista Brasileira de Saúde Ocupacional*, *Revista Brasileira de Saúde Ocupacional*, 44:1-14.
- Pereira, R.V., Filgueiras, C.C., Dória, J., Peñaflor, M.F.G.V., and Willett, D.S. (2021) The effects of biostimulants on induced plant defense. *Frontiers in Agronomy*, 3:630596.
- Piccolo, A. (1996) Humic substances in terrestrial ecosystems. Amsterdam: *Elsevier*, 675 p.
- Piccolo, A. (2001) The supramolecular structure of humic substances. *Soil Science*, 166 (11): 810-832.
- Piccolo, A. (2002) The supramolecular structure of humic substances: A novel understanding of humus chemistry and implications in soil science. *Advances in Agronomy*, 75, 57–134.
- Piccolo, A. (ed.) (2012) Carbon Sequestration in Agricultural Soils: A multidisciplinary approach to innovative methods. Berlim: Springer Heidelberg, 310 p.
- Pinto, C.M. (2013) Metanálise qualitativa como abordagem metodológica para pesquisas em letras. *Atos de Pesquisa em Educação*, 8:1033-1040.
- Pieterse, C.M.J., Van Loon, L.C. (1999) Salicylic acid-independent plant defense pathways. *Trends in Plant Science*, 4:52–8.

- Poletto, A.R., Gontijo, L.A. (2012) Family farming workers mental health in a microregion in southern Brazil. *Work*, 42:4987-94
- Puglisi, E., Fragoulis, G., Ricciuti, P., Cappa, F., Spaccini, R., Piccolo, A., et al. (2009) Effects of a humic acid and its size-fractions on the bacterial community of soil rhizosphere under maize (*Zea mays* L.). *Chemosphere*, 77:829–837.
- Puglisi, E., Pascazio, S., Suci, N., Cattani, I., Fait, G., Spaccini, R., Crecchio, C., Piccolo, A., Trevisan, M. (2013) Rhizosphere microbial diversity as influenced by humic substance amendments and chemical composition of rhizodeposits. *Journal of Geochemical Exploration*, 129:82-94.
- Ratchaseema, M.T.N., Kladsuwan, L., Soulard, L. et al. (2021) The role of salicylic acid and benzothiadiazole in decreasing phytoplasma titer of sugarcane white leaf disease. *Scientific Reports*, 11:1-9.
- Ravindran, B., Wong, J.W., Selvam, A., Sekaran, G. (2016) Influence of microbial diversity and plant growth hormones in compost and vermicompost from fermented tannery waste. *Bioresource Technology*, 217:200–204.
- Razmjou, J., Mohammadi, M., and Hassanpour, M. (2011) Effect of vermicompost and cucumber cultivar on population growth attributes of the melon aphid (hemiptera: Aphididae). *Journal of Economic Entomology*, 104:1379–1383.
- Renčo, M., Kováčik, P. (2015) Assessment of the nematicidal potential of vermicompost, vermicompost tea, and urea application on the potato-cyst nematodes *Globodera rostochiensis* and *Globodera pallida*. *Journal Of Plant Protection Research*, 55(2):1-6.
- Riggle, D. (1996) Compost teas in agriculture. *BioCycle*, 37:65-67.
- Robert-Seilaniantz, A., Grant, M., and Jones, J.D. (2011) Hormone crosstalk in plant disease and defence: more than just jasmonate-salicylate antagonism *Annual Review of Phytopathology*, 49(1): 317-343.
- Rodrigues, C.L., Ziegelmann, P.K. (2010) Metanálise: Um Guia Prático. *Clinical & Biomedical Research*, 30(4), Acessado em: novembro de. 2021.
- Rostami, M., Olia, M., Arabi, M. (2014) Evaluation of the effects of earthworm *Eisenia fetida*-based products on the pathogenicity of root-knot nematode (*Meloidogyne javanica*) infecting cucumber. *The International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 3(58):1-8.
- Sahni, S., Kumar, S., and Prasad, B.D. (2021) Integration of salicylic acid, vermicompost and bioagent for effective management of chickpea wilt disease. *Journal of Environmental Biology*, 42:1274-1280.
- Sánchez-Monedero, M.A., Roig, A., Paredes, C., Bernal, M.P. (2001) Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rutgers system and its effects on pH, EC and maturity of the composting mixtures. *Bioresource Technology*, 78:301–308.

- Sang, M.K., Kim, K.D. (2011) Biocontrol activity and primed systemic resistance by compost water extracts against anthracnoses of pepper and cucumber. *Phytopathology*, 101:732–740
- Santos, E.J.F., & Cunha, M. (2013) Interpretação Crítica dos Resultados Estatísticos de Uma Meta-análise: Estratégias Metodológicas. *Millenium*, 44:85-98.
- Sharma, A., Kumar, V., Shahzad, B. et al. (2019) Worldwide pesticide usage and its impacts on ecosystem. *SN Applied Sciences*, 1:1446-1460.
- Sauvant, D., Schmidely, P., Daudin, J.J., St-Pierre, N.R. (2008) Meta-analyses of experimental data in animal nutrition. *Animal*, 2:1203-1214.
- Schnitzer, M. (1978) Humic substances: chemistry and reactions. In: Schnitzer, M., and Khan, S.U. (eds.) *Developments in Soil Science Soil Organic Matter*. Amsterdam: Elsevier, p. 1–64.
- Seenivasan, N. and Senthilnathan, S. (2018) Effect of humic acid on *Meloidogyne incognita* (Kofoid & White) Chitwood infecting banana (*Musa* spp.), *International Journal of Pest Management*, 64(2):110-118.
- Seenivasan, N., Senthilnathan, S. (2017) Effect of humic acid on *Meloidogyne incognita* (Kofoid & White) Chitwood infecting banana (*Musa* spp.), *International Journal of Pest Management*, 64(2): 110-118.
- Shah, Z.H., Rehman, H.M., Akhtar, T., Alsamadany, H., Hamooh, B.T., Mujtaba, T., et al. (2018) Humic substances: determining potential molecular regulatory processes in plants. *Frontiers in Plant Science*, 9:263-275.
- Siddiqui, Y., Sariah, M., Razi, I., Mawardi, R. (2009) Bio-potential of compost tea from agro-waste to suppress *Choanephora cucurbitarum* L. the causal pathogen of wet rot of okra. *Biological control*, 49:38–44
- Silva, H.A.S., Romeiro, R.S., Macagnan, D., Halfeld-Vieira, B.A., Pereira, M.C.B., Mounteer, A. (2004) Rhizobacterial induction of systemic resistance in tomato plants: non specific protection and increase enzyme activities. *Biological Control*, 29(2):288-295.
- Silva, J.M., Medeiros, E.V., Duda, G.P., Barros, J.A., Santos, U.J. (2017) Fumes and microbial activities involved in the suppression of cassava root by organic matter. *Revista Caatinga*, 30(3):708 – 717.
- Simsek-Ersahin, Y. (2011) The use of vermicompost products to control plant diseases and pests. In: Karaca A. (Ed.). *Biology of Earthworm*. Springer: Verlag Berlin Heidelberg, 191–213
- Song, X., Liu, M., Wu, D., Griffiths, B.S., Jiao, J., Li, H., Hu, F. (2015) Interaction matters: synergy between vermicompost and PGPR agents improves soil quality, crop quality and crop yield in the field. *Applied Soil Ecology*, 89:25-34.

- Scheuerell, S.J., Mahaffee, W.F. (2002) Compost tea: principles and prospects for plant disease control. *Compost Science and Utilization*, 10:313–338
- Schiavon, M., Pizzeghello, D., Muscolo, A., Vaccaro, S., Francioso, O., Nardi, S. (2010) High molecular size humic substances enhance phenylpropanoid metabolism in maize (*Zea mays* L.). *Journal of Chemical Ecology*, 36: 662–669.
- Stefan, G., Qirong, S., George, A., Kowalchuk, T.S., Botton, A., Vaccaro, S., Vezzarola, A., Quaggiotti, S., Nardi, S. (2011) Humic substances affect Arabidopsis physiology by altering the expression of genes involved in primary metabolism, growth and development. *Environmental and Experimental Botany – Journal*, 74:45–55.
- Stefani, E. (2010) Economic significance and control of bacterial spot/canker of stone fruits caused by *Xanthomonas arboricola* pv. *pruni*. *Journal of Plant Pathology*, 92:99–104.
- Stevenson, F.J. (1994) Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions. 2^a ed. Hoboken: *John Wiley & Sons*, 512 p.
- Sukanto, S. (2003) Pengendalian Secara Hayati Penyakit Busuk Buah Kakao dengan Jamur Antagonis *Trichoderma harzianum*. *Prosiding Kongres Nasional XVII e Seminar Ilmiah PFI*, 134-137.
- Tao, C., Li, R., Xiong, W., Shen, Z., Liu, S., Wang, B., Ruan, Y. (2020) Bio-organic fertilizers stimulate indigenous soil Pseudomonas populations to enhance plant disease suppression. *Microbiome*, 8:1-14.
- Töfoli, J.G., Domingues R.J. (2006) Alternarioses em hortaliças: sintomas, etiologia e manejo integrado. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2006_3/alternarioses/Index.htm>. Acesso em: 12/12/2021
- Vaccaro, S., Ertani, A., Nebbioso, A., Muscolo, A., Quaggiotti, S., Piccolo, A., Nardi, S. (2015) Humic substances stimulate maize nitrogen assimilation and amino acid metabolism at physiological and molecular level. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 2:1-12.
- Van Loon, L.C., Bakker, P.A.H.M., Pieterse, C.M.J. (1998) Systemic resistance induced by rhizosphere bacteria. *Annual Review of Phytopathology*, 36:453–83.
- Van Loon, L.C., Van Strien, E.A. (1999) The families of pathogenesis-related proteins, their activities, and comparative analysis of PR-1 type proteins. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 55(2):85-97.
- Van Maele-Fabry, G., Gamet-Payrastre, L., Lison, D. (2017) Residential exposure to pesticides as risk factor for childhood and young adult brain tumors: A systematic review and meta-analysis. *Environment International*, 106:69-90.

- van West, P., Appiah, A.A., Gow, N.A.R. (2003) Advances in research on oomycete root pathogens. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 62:99–113.
- Venkatesh, G. (2022) Circular Bio-economy—Paradigm for the Future: Systematic Review of Scientific Journal Publications from 2015 to 2021. *Circular Economy and Sustainability journal*, 2:231-279.
- Verhagen, B.W., Van Loon, L.C., Pieterse, C.M. (2006) Sinalização de resistência induzida em planta. *Floriculture, Ornamental and Plant Biotechnology*, 3:334–343.
- Verhagen, B.W.M., Glazebrook, J., Zhu, T., Chang, H.S., van Loon, L.C., Pieterse, C.M.J. (2004) The Transcriptome of Rhizobacteria-Induced Systemic Resistance in Arabidopsis. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 17:895–908.
- Viechtbauer, W. (2010) Conduzindo meta-análises em R com o pacote metafor. *Journal of Statistical Software*, 36 (3):1-48.
- War, A.R., Paulraj, M.G., Ahmad, T., Buhroo, A.A., Hussain, B., Ignacimuthu, S., Sharma, H.C. (2012) Mechanisms of plant defense against insect herbivores. *Plant signaling & behavior*, 7(10):1306–1320.
- Wasternack, C., and Hause, B. (2013) Jasmonates: biosynthesis, perception, signal transduction and action in plant stress response, growth and development. An update to the 2007 review in *Annals of Botany*. *Annals of Botany*, 111: 1021–1058.
- Widmer, T.L., Mitkowski, N.A., Abawi, G.S. (2002) Soil organic matter and management of plant parasitic nematodes. *Journal of nematology*, 34 (4): 289–295.
- Wolf, F.M. (1986) *Meta-analysis: quantitative methods for research synthesis*. 1.ed. Newbury Park: *SAGE Publications*, 72p.
- Wong, W.S., Zhong, H.T., Cross, A.T., and Yong, J.W. (2020) “Plant biostimulants in vermicomposts: characteristics and plausible mechanisms,” in *The Chemical Biology of Plant Biostimulants* (eds) Geelen, D., Xu, L. USA: Wiley, 155–180.
- Yang, L., Zhao, F., Chang, Q., Li, T., Li, F. (2015) Effects of vermicomposts on tomato yield and quality and soil fertility in greenhouse under different soil water regimes. *Agricultural Water Management*, 160:98-105.
- Yatoo, A.M., et al. (2020) Vermicomposting: An Ecological Approach to Recycling / Organic Waste Management. In: Hakeem K., Bhat R., Qadri H. (eds.) *Bioremediation and Biotechnology*, p 167-187.
- Yatoo, A.M., Ali, M.N., Baba, Z.A. et al. (2021) Manejo sustentável de doenças e pragas em lavouras por vermicomposto e chá de vermicomposto. Uma revisão. *Agronomy for Sustainable Development*, 41(1):1-27.

- Yildiztekin, M., Atum, A.L., and Kaya, C. (2018) Physiological effects of brown algae (*Ascophyllum nodosum*) and humic substances on plant growth, enzymatic activities of certain pepper plants grown under salt stress. *Future Biology*, 69:325-335.
- Xiao, Z., Liu, M., Jiang, L., Chen, X., Griffiths, B.S., Li, H., Hu, F. (2016) Vermicompost increases defense against root-knot nematode (*Meloidogyne incognita*) in tomato plants. *Applied Soil Ecology*, 105:177-186.
- Zhang, W., Hoitink, H.A.J., Dick, W.A. (1996) Compost-induce systemic acquired resistance in cucumber to *Pythium* root rot and anthracnose. *Phytopathology*, 86:1066-1070.
- Zhang, W., Han, D.Y., Dick, W.A., Davis, K.R., Hoitink, H.A.J. (1998) Compost and compost water extract-induced systemic acquired resistance in cucumber and *Arabidopsis*. *Phytopathology*, 88:450-455.
- Zhang, S., Raza, W., Yang, X., et al. (2008) Control of *Fusarium* wilt disease of cucumber plants with the application of a bioorganic fertilizer. *Biology and Fertility of Soils*, 44:1073–80.

8. ANEXOS

N°	Title	Authors	Year	Source title	Impact Factor	Vol.	Iss.	Page start	Page end
1	Effect of individual and combined application of <i>Trichoderma</i> sp. And vermicompost on the management of <i>Sclerotium rolfsii</i> and growth of chilli under peatlands agro-climatic conditions	Jaya A, Lautt BS, Antang EU, Supriati L, Dohong S.	2021	Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences		9	4	445	456
2	Integration of salicylic acid, vermicompost and bioagent for effective management of chickpea wilt disease	Sahni S, Kumar S & Prasad BD.	2021	Journal of Environmental Biology		42		1274	1280
3	Role of biochar, compost and plant growth promoting rhizobacteria in the management of tomato early blight disease	Rasool M, Akhter A, Soja G & Haider MS.	2021	Scientific Reports	3.998	11	1	1	16
4	Effectiveness of compost and microbial-enriched compost to suppress powdery mildew and early blight diseases in tomato	Istifadah N, Firman AR & Desiana MF.	2020	Journal of animal and plant sciences	0.481	30	2	377	383
5	Bio-organic fertilizers stimulate indigenous soil <i>Pseudomonas</i> populations to enhance plant disease suppression	Tao C , Li R, Xiong W, Shen Z, Liu S, Wang B, Ruan Y, Geisen S, Shen Q, and Kowalchuk AG.	2020	Microbiome	11.607	8	1	1	14
6	Bottom-UP effects of organic fertilizers on <i>plutella xylostella</i> (L) with selected cruciferous crop plants	Jafary-Jahed M, Razmjou J, Nouri-Ganbalani G, Naseri B & Hassanpour M.	2020	Journal of the Lepidopterists' Society	0.5	74	1	7	17
7	Shallot Basal Bulb Rot Management through Integration of <i>Trichoderma asperellum</i> , Composted Plant Residues and Natural Mulch	Ismail N, Rosmana A, Sjam S & Ratnawati R.	2020	Journal of Pure and Applied Microbiology	0.073	14	3	1779	1788

8	Arbuscular mycorrhiza and environmentally biochemicals enhance the nutritional status of <i>Helianthus tuberosus</i> and induce its resistance against <i>Sclerotium rolfsii</i>	Khaled EE, Mohamed AHH, Enas MM, Mahran ME, Ahmed AA, Basma HA, Mohamed I & Maha MA.	2019	Ecotoxicology and Environmental Safety	4.872	186				
9	The effects of vermicompost mixed with <i>tricorderma asperellum</i> on the growth and pythium root of lettuces	Charoenrak P, Chamswang C, Intanoo W & Keawprasert N.	2019	International Journal of GEOMATE	0.856	17	61	215	221	
10	Effect of Redworm Extracts against Fusarium Root Rot during Wheat Seedling Emergence	Akinnuoye-Adelabu DB, Hatting J, de Villiers C, Terefe T & Bredenhand E.	2019	Agronomy	1.683	111	5	2610	2618	
11	Activating biochar by manipulating the bacterial and fungal microbiome through pre-conditioning	Jaiswal AK, Elad Y, Cytryn E, Graber ER & Frenkel O.	2018	New Phytologist	8.512	219	1	363	377	
12	Manipulation of the rhizosphere microbial community through application of a new bioorganic fertilizer improves watermelon quality and health	Zhao J, Liu J, Liang H, Huang J, Chen Z, Nie Y, Wang C & Wang Y.	2018	PLoS ONE	2740	13	2	1	14	
13	Evaluation of different types of compost tea to control rose powdery mildew (<i>Sphaerotheca pannosa</i> var. <i>rosae</i>)	Seddigh S & Kiani L.	2017	International Journal of Pest Management	1091	64	2	178	184	
14	Enhancement in the productivity of ladies finger (<i>Abelmoschus esculentus</i>) with concomitant pest control by the vermicompost of the weed <i>salvinia</i> (<i>Salvinia molesta</i> , Mitchell)	Hussain N, Abbasi T & Abbasi SA.	2017	International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture	sem IF	6	4	335	343	
15	Diverse microbial communities in non-aerated compost teas suppress bacterial wilt	Mengesha WK, Powell SM, Evans KJ & Barry KM.	2017	World Journal of Microbiology and Biotechnology	2477	33	3	1	14	

16	Fames and microbial activities involved in the supression of cassava root rot by organic matter	Silva JM, Medeiros EV, Duda GP, Barros JA , Santos UJ.	2017	Revista Caatinga	0.713	30	3	708	717
17	Effect of humic acid on Meloidogyne incognita (Kofoid & White) Chitwood infecting banana (Musa spp.)	Seenivasan N & Senthilnathan S.	2017	International Journal of Pest Management	1091	64	2	110	118
18	Population Growth Parameters of Tuta absoluta (Lepidoptera: Gelechiidae) on Tomato Plant Using Organic Substrate and Biofertilizers	Mohamadi P, Razmjou J, Naseri B, & Hassanpour M.	2017	Journal of Insect Science	0.494	17	2	1	7
19	Impact of Chemical, Organic and Bio-Fertilizers Application on Bell Pepper, Capsicum annum L. and Biological Parameters of Myzus persicae (Sulzer) (Hem.: Aphididae)	Mardani-Talae M, Razmjou J, Nouri-Ganbalani G, Hassanpour M & Naseri B.	2017	Neotropical Entomology	0.494	46		578	586
20	Field application of plant resistance inducers (PRIs) to control important root rot diseases and improvement growth and yield of green bean (Phaseolus vulgaris L.)	El-Mohamedy RSR , Shafeek MR , El-Samad EHA , Salama DM & Rizk FA.	2017	Australian Journal of Crop Science	0.720	11	5	496	505
21	Biological management of Fusarium wilt of tomato using biofortified vermicompost	Basco MJ, Bisen K, Keswani C, Singh HB.	2017	Mycosphere	2092	8	3	467	483
22	Humic Substances: A powerful tool for controlling fusarium wilt disease and improving the growth of Cucumber plants	Afifi MMI, Ismail AM, Kamel SM, Essa TA.	2017	Journal of Plant Pathology	0.362	99	1	61	67
23	Elicitation of resistance to bacterial canker of stone fruits by humic and fulvic acids (glucohumates): a cDNA-AFLP-dHPLC approach	Giovanardi D, Dallai D, Dondini L, Mantovani V & Stefani E.	2016	Scientia Horticulturae	0.906	212	2016	186	192
24	Microbiota Characterization of Compost Using Omics Approaches Opens New Perspectives for Phytophthora Root Rot Control	Blaya J, Marhuenda FC, Pascual JA & Ros M.	2016	PLOS ONE	2.74	11	8		

25	Potential of Fusarium wilt-inducing chlamydospores, in vitro behaviour in root exudates and physiology of tomato in biochar and compost amended soil	Akhter A, Hage-Ahmed K, Soja G & Steinkellner S.	2016	Plant and soil	3.299	406	1_2	425	440
26	Vermicompost increases defense against root-knot nematode (<i>Meloidogyne incognita</i>) in tomato plants	Xiao, Z. Liu, M. Jiang, L. Chen, X. Griffiths, B.S. Li, H. Hu, F.	2016	Applied Soil ecology	3.187	105		177	186
27	Assessment of the nematicidal potential of vermicompost, vermicompost tea, and urea application on the potato-cyst nematodes <i>Globodera rostochiensis</i> and <i>Globodera pallida</i>	Renco M & Kovacic P.	2015	Journal of Plant Protection Research	0.970	55	2	187	192
28	Effects of arbuscular mycorrhizal fungus, humic acid, and whey on wilt disease caused by <i>Verticillium dahliae</i> Kleb. in three solanaceous crops	Demir S, Sensoy S, Ocak E, Tufençi S, Demireur Durak E, Erdinç Ç & Unsal H.	2015	Turkish Journal of Agriculture and Forestry	1660	39		300	309
29	Potato Early Dying and Yield Responses to Compost, Green Manures, Seed Meal and Chemical Treatments	Molina OI, Tenuta M, El Hadrami A, Buckley K, Cavers C & Daayf F.	2014	American Journal of Potato Research	0.858	91	4	414	428
30	Effect of vermicompost on pepper plants inoculated with <i>Phytophthora capsici</i>	Uribe-Lorío L, Barquero LC, Cavallini FA, Henríquez CH & Meneses MB.	2014	Agronomía Mesoamericana	sem IF	25	2	243	253
31	Evaluation of the effects of earthworm <i>Eisenia fetida</i> -based products on the pathogenicity of root-knot nematode (<i>Meloidogyne javanica</i>) infecting cucumber	Rostami M, Olia M, & Arabi M.	2014	International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture		3	2	1	8
32	Control of <i>Phytophthora capsici</i> and <i>Phytophthora parasitica</i> on pepper (<i>Capsicum annuum</i> L.) with compost teas from different sources, and their effects on plant growth promotion	Marín F, Diánez F, Santos M, Carretero F, Gea FJG, Castañeda C, Navarro MJ, & Yau JA,	2014	Phytopathologia Mediterranea		53	2	216	228

33	Characters of compost teas from different sources and their suppressive effect on fungal phytopathogens	Marín F, Santos M, Diáñez F, Carretero F, Gea FJ, Yau JÁ, & Navarro MJ.	2013	World Journal of Microbiology and Biotechnology	2.627	29		1371	1382
34	Influence of vermicompost and cucumber cultivar on population growth of <i>Aphis gossypii</i> Glover	Razmjou J, Vorburger C, Mohammadi M & Hassanpour M.	2012	Journal of applied entomology	2.211	136	8	568	575
35	Effect of vermicompost and chitin on the control of <i>Meloidogyne incognita</i> in greenhouse tomato	Castro L, Flore L & Uribe L.	2011	Agronomía Costarricense	sem IF	35	2	21	32
36	Biocontrol Activity and Primed Systemic Resistance by Compost Water Extracts Against Anthracnoses of Pepper and Cucumber	Sang MK & Kim KD	2011	Phytopathology	3.234	110	6	732	740
37	Effect of Vermicompost and Cucumber Cultivar on Population Growth Attributes of the Melon Aphid (Hemiptera: Aphididae)	Razmjou J, Mohammadi M & Hassanpour	2011	Journal of Economic Entomology	1.938	104	4	1379	1383
38	Host plant effects on generalist and specialist lepidopterous cabbage pests modulated by organic soil amendment	Little AG & Cardoza YJ.	2011	Pedobiologia	2.000	54		353	359
39	Evaluating novel microbe amended composts as biocontrol agents in tomato	Dukare AS, Prasanna R, Dubey SC, Nain L, Chaudhary V, Singh R, & Saxena AK.	2011	Crop Protection		30	4	436	442
40	<i>Arabidopsis thaliana</i> resistance to insects, mediated by an earthworm-produced organic soil amendment	Cardoza YJ.	2010	Pest Management Science	3.750	67		233	238
41	Efecto de la aplicación de abonos orgánicos en la supresión de <i>Pythium myriotylum</i> en plantas de tiquisque (<i>Xanthosoma sagittifolium</i>)	Artavia S, Uribe L, Saborío L, Arauz LF & Castro L.	2010	Agronomía Costarricense	sem IF	34	1	17	29
42	Suppressive effect of non-aerated compost teas on foliar fungal pathogens of tomato	Koné SB, Dionne A, Tweddell RJ, Antoun H, Avis TJ.	2010	Biological Control		52	2	167	173

Tabela 2. Informações gerais do tipo de cultura, a causa e seu agente causal, a fonte orgânica usada e sua forma de aplicação e, por fim, a eficácia

Cultura	Causa	Agente Causal	Fonte orgânica	Forma de aplicação	Eficácia (%)
Tomate	Murcha de Sclerotium	Sclerotium rolfsii	V	Via substrato	93
Grão de bico	Murcha de Fusarium	Fusarium spp.	Comb	Via substrato	70
Tomate	Pinta preta	Alternaria solani	Outros	Via substrato	77
Tomate	Pinta preta	Alternaria solani	Comb	Spray foliar	0
Banana	Murcha de Fusarium	Fusarium spp.	Comb	Via substrato	70
Canola	Traça das crucíferas	Plutella xylostella	Comb	Via substrato	41
Alho	Podridão do bulbo basal	Fusarium spp.	Comb	Via substrato	41
Alcachofra	Podridão mole	Sclerotium rolfsii	Comb	Via substrato	43
Alface	Podridão da raiz	Pythium spp.	Comb	Via substrato	100
Trigo	Podridão da raiz	Fusarium spp.	CV	Via substrato	53
Pepino	Podridão da raiz	Pythium spp.	Outros	Via substrato	63
Melão	Murcha de Fusarium	Fusarium spp.	Outros	Via substrato	72
Rosa	Oídio rosa	Sphaerotheca pannosa	CC	Spray foliar	50
Dedo feminino	Pinta preta	Alternaria alternada	V	Via substrato	82

Batata	Murcha bacteriana	Ralstonia solanacearum	CC	Via substrato	67
Mandioca	Podridão radicular	Fusarium spp.	C	Via substrato	96
Banana	Nematoide de galhas	Meloidogyne spp.	SH	Via substrato	100
Tomate	Traça-do-tomateiro	Tuta absoluta	V	Via substrato	9
Pimenta	Pulgão verde	Myzus persicae	V	Via substrato	32
Feijão	Podridão radicular	Fusarium spp.	SH	Via semente	45
Feijão	Podridão radicular	Rhizoctonia solani	Comb	Via semente	58
Tomate	Murcha de Fusarium	Fusarium spp.	Comb	Via substrato	83
Pepino	Murcha de Fusarium	Fusarium spp.	SH	Via substrato	84
Pêssego	Cancro da folha bacteriana	Xanthomonas arboricola	SH	Spray foliar	78
Pimenta	Podridão radicular	Phytophthora spp.	C	Via substrato	57
Tomate	Murcha de Fusarium	Fusarium spp.	Comb	Via substrato	80
Tomate	Nematoide de galhas	Meloidogyne spp.	V	Via substrato	49
Batata	Nematoídes de cisto de batata	Globodera spp.	CV	Via substrato	43
Batata	Nematoídes de cisto de batata	Globodera spp.	CV	Via substrato	71
Tomate	Podridão e murcha das raízes	Verticillium dahliae Kleb	SH	Via substrato	67
Batata	Morte Precoce da batata	Verticillium dahliae Kleb	C	Via substrato	56
Pimenta	Podridão basal do caule	Phytophthora spp.	V	Via substrato	0
Pepino	Nematoide de galhas	Meloidogyne spp.	Comb	Via substrato	99
Pimenta	Murcha das plantas	Phytophthora spp.	CC	Via substrato	100
Melão	Oídio	Podosphaera fusca	CC	Spray foliar	93
Pepino	Pulgão do Melão	Aphis gossypii	V	Via substrato	60
Tomate	Nematoide de galhas	Meloidogyne spp.	V	Via substrato	88
Pimentão	Antracnose	Colletotrichum spp.	CV	Spray foliar	0
Pepino	Antracnose	Colletotrichum spp.	CV	Spray foliar	33
Pepino	Pulgão do Melão	Aphis gossypii	V	Via substrato	29
Arabidopsis	Lagarta do Pieries rapae	Pieries rapae	V	Via substrato	85

Tomate	Podridão radicular	Pythium spp.	CC	Via substrato	72
Tomate	Podridão caulinar	Rhizoctonia solani	CC	Via substrato	72
Arabidopsis	Lagarta da espiga de milho	Helicoverpa zea	V	Via substrato	53
Taioba	Podridão Radicular	Pythium spp.	V	Via substrato	93
Tomate	Oídio	Oidium neolycopersici	CC	Spray foliar	4
Tomate	Mofo cinza	Botrytis cinerea	CC	Spray foliar	99