

Indução de supressividade do solo a doenças de plantas por meio da incorporação de matéria orgânica

Wagner Bettiol
Sami Jorge Michereff
Daniel Winter Heck

Introdução

O fenômeno que alguns solos apresentam de prevenirem, naturalmente, o estabelecimento de patógenos ou inibirem as suas atividades patogênicas é denominado de supressividade, e solos com estas características são denominados de solos supressivos. Por outro lado, solos que não apresentam esta característica são chamados de solos conducentes (Bettiol; Ghini, 2005).

O termo solo supressivo foi utilizado pela primeira vez por Menzies (1959). Nesse artigo, em tradução livre, ele escreveu: “Quando solo pesadamente infestado com o patógeno foi misturado em igual proporção com solo supressivo, a sarna da batatinha foi controlada”. Contudo, Atkinson (1892) foi o primeiro a relatar a capacidade dos solos em controlar doenças das plantas, assim, solos supressivos, reconhecendo que a murcha de *Fusarium* do algodoeiro foi mais severa em solos arenosos do que nos argilosos (Atkinson, 1892; Huber; Schneider, 1982).

Com as publicações de Baker e Cook (1974), Papavizas e Lumsden (1980), Schroth e Hancock (1981), Schneider (1982), Hornby (1983) e Hornby (1990) o termo solo supressivo passou a ser utilizado rotineiramente. Entretanto, solo resistente, imune, intolerante, competitivo, antagonista, de vida longa, baixo patógeno, fungistático e com poder tampão foram algumas das terminologias anteriormente utilizadas (Baker; Cook, 1974; Huber; Schneider, 1982).

Solos supressivos são comuns em ambientes ecologicamente balanceados de ecossistemas em clímax, nos quais os constituintes físicos, químicos e biológicos tiveram anos para estabilizar (Schneider, 1982). Por outro lado, a supressividade é uma característica dos solos que também pode ser induzida. A incorporação dos mais diferentes substratos, especialmente a matéria orgânica,

é, provavelmente, a mais discutida e amplamente utilizada na indução de supressividade dos solos.

Solos ricos em matéria orgânica geralmente apresentam maior supressividade. Esse fato deve-se, principalmente, à capacidade de suportar maior atividade microbiana; à melhora da estrutura do solo e com isso propiciar maior aeração e retenção de umidade; às substâncias de sua decomposição que muitas vezes são tóxicas aos fitopatógenos; à liberação de hormônios e aminoácidos e outras substâncias que podem induzir a resistência do hospedeiro aos patógenos; bem como ao fornecimento de macro e micronutrientes. Inclusive, o uso para fornecimento de nutrientes é um dos principais objetivos da aplicação de matéria orgânica no solo, contudo, nem sempre o fornecimento é equilibrado de acordo com as necessidades das plantas.

Os resíduos orgânicos, originários das atividades agrícolas ou industriais, bem como aqueles gerados no âmbito doméstico, são as principais fontes de matéria orgânica incorporadas aos solos para fins de fertilização e melhoria das suas propriedades físicas. Com a incorporação dos resíduos orgânicos no solo (desde que apresentem qualidade adequada de uso agrícola) ocorre, geralmente, estímulo das atividades biológicas. Numerosos relatos indicam que os resíduos orgânicos reduzem a incidência de patógenos habitantes do solo. Esta estratégia vem recebendo atenção especial, pois é uma alternativa viável para reduzir o uso de fungicidas na agricultura. A adição ao solo de esterco, compostado ou não, suprime a incidência e a severidade de *Pythium aphanidermatum*, *Pythium ultimum*, *Rhizoctonia solani*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Sclerotinia homeocarpa*, *Sclerotium rolfii* e outros fitopatógenos (Gorodechi; Hadar, 1990; Mandelbaum; Hadar, 1990; Nelson; Craft, 1992; Asirifi et al., 1994; Voland; Epstein, 1994; Bettioli et al., 1997; Meghvansi; Varma, 2015). Redução da severidade de diversas doenças provocadas por *Fusarium* (Mitchell; Alexander, 1961; Buxton et al., 1965; Eck, 1978) foi observada com a incorporação de quitina no solo, sendo que Ehteshamul-Haque et al. (1997) demonstraram que o uso de resíduos de crustáceos, ricos em quitina, reduziram significativamente *Meloidogyne javanica*, em grão de bico. Em um dos estudos pioneiros com a aplicação de lodo de esgoto compostado, Lumsden et al. (1983) verificaram redução significativa de *Aphanomyces* em ervilha; *Rhizoctonia* em feijão, algodão e rabanete; *Sclerotinia* em alface; *Fusarium* em pepino e *Phytophthora* em pimenta. No Brasil, Bettioli e Krügner (1984) foram os primeiros a demonstrarem o potencial de lodo de esgoto em induzir a supressividade a doenças de plantas estudando os seus efeitos em *Pythium arrhenomanes* em sorgo (Figura 1). Chen et al. (1988a, 1988b) e Boehm; Hoitink (1992) obtiveram substratos supressivos a *Pythium ultimum* com a manipulação de uma mistura

de casca de árvores e de lixo doméstico compostados. St. Martin (2015) discute o uso de composto orgânico, bem como do chá de composto (compost tea) no controle de diversos patógenos habitantes do solo.



Foto: Wagner Bettiol

Figura 1. Influência do lodo de esgoto (% v/v) na severidade da podridão de raiz de sorgo causada por *Pythium arrhenomanes*. A = Solo infestado com *Pythium*. B = Solo não infestado com *Pythium*.

É importante considerar que, dependendo da fonte de matéria orgânica, do patossistema, do tipo de solo e outras condições ambientais, as matérias orgânicas podem induzir a supressividade, não ter ação sobre o patógeno ou a doença ou ainda aumentar a incidência de doenças (Bonanomi et al., 2007). Em relação à indução da supressividade, há necessidade de se considerar as características da própria matéria orgânica (Huber; Watson, 1970; Hoitink; Fahy, 1986; Chen et al., 1988a, 1988b; Ramirez-Villapudua; Munnecke, 1988; Villar et al., 1990; Hoitink; Boehm, 1991; Hoitink; Boehm, 1999; Boehm; Hoitink, 1992). Na Tabela 1 são apresentados diversos exemplos com os três tipos de efeitos do uso de matéria orgânica sobre doenças de plantas.

Tabela 1. Exemplos de manejo ou estratégias para indução de supressividade do solo a patógenos habitantes do solo.

Matéria orgânica	Cultura	Patógeno/doença	Mecanismo/ bioagente	Volume aplicado e estratégia de aplicação	Referência
Indução de supressividade					
Cama de frango	Cravo	Murcha de <i>Fusarium</i> / <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>dianthi</i>			Melero-Vara et al. (2011)
Resíduos orgânicos	Espinafre Alface	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>spinaciae</i> <i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>lactucae</i>			Mitsuboshi et al. (2018)
Lodo de esgoto	Melão Alface Pimentão Ervilha Feijão Feijão, algodão e rabanete	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>melonis</i> <i>Sclerotinia minor</i> <i>Phytophthora capsici</i> <i>Aphanomyces solani</i> <i>Pythium myriotylum</i> <i>Rhizoctonia solani</i>			Lumsden et al. (1983)
Lodo de esgoto	Soja	<i>Meloydogine javanica</i> e <i>Heterodera glycines</i>			Araújo e Bettiol (2005)
Lodo de esgoto	Citros	<i>Phytophthora nicotianae</i>			Leoni e Ghini (2006)
Lodo de esgoto	Tomate Feijão Rabanete Pepino	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i> , <i>Sclerotinia sclerotiorum</i> , <i>Ralstonia solanacearum</i> <i>Sclerotium rolfsii</i> <i>R. solani</i> <i>Pythium</i> spp.			Ghini et al. (2007)
Lodo de esgoto compostado	Crisântemo	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>chrysanthemi</i>	Atividade microbiana	Incorporação entre 10% e 30% (v/v) em substrato à base de casca de pinus	Pinto et al. (2013)
Lodo de esgoto	Feijão	<i>S. rolfsii</i>	Atividade microbiana		Santos e Bettiol (2003)
Lodo de esgoto/ Biochar	Banana	Murcha de <i>Fusarium</i> / <i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>cubense</i>			Heck et al. (2019)
Casca de camarão	Crisântemo	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>chrysanthemi</i>	Atividade microbiana	Incorporação de 4% (v/v) no substrato à base de casca de pinus	Pinto et al. (2010)
Composto	Banana	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>cubense</i>	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>		Fu et al. (2016); Fu et al. (2017)

Continua

Tabela 1. Continuação

Matéria orgânica	Cultura	Patógeno/doença	Mecanismo/bioagente	Volume aplicado e estratégia de aplicação	Referência
Composto	Agrião	<i>Pythium ultimum</i> , <i>Rhizoctonia solani</i> , <i>Sclerotinia minor</i>	Atividade microbiana		Pane et al. (2011)
Composto	Berinjela Couve-flor Tomate Lupin Espatífilio Pinus e linho	<i>Verticillium dahliae</i> <i>Rhizoctonia solani</i> <i>Phytophthora nicotianae</i> <i>Phytophthora cinnamomi</i> <i>Cylindrocladium spathiphylli</i> <i>Rhizoctonia solani</i> <i>Fusarium oxysporum</i>			Termorshuizen et al. (2006)
Composto	Poinsettia	<i>Pythium ultimum</i>	Atividade microbiana		Boehm e Hoitink (1992)
Composto (cortiça e resíduo de uva)	Tomate	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i>			Borrero et al. (2006)
Resíduo de oliva compostado	Tomate	<i>Pythium ultimum</i> <i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i>			Alfano et al. (2011)
Composto	Abóbora	<i>P. capsici</i>	Composição da microbiota		Bellini et al. (2020)
Chorume de porco		<i>Verticillium dahliae</i>			Conn et al. (2005)
Emulsão de peixe	Berinjela Batata	<i>Verticillium dahliae</i> e <i>Verticillium albo-atrum</i> Sarna/ <i>Streptomyces</i> spp.			Abbasi et al. (2006)
Hidrolisado de peixe	Espatífilio	<i>C. spathiphylli</i>	Metabólitos voláteis, inibição do crescimento micelial e atividade microbiana	A indução ocorreu em concentrações superiores a 20 do volume de água necessário para atingir a capacidade de retenção do substrato	Visconti et al. (2010)
Biochar	Aspargo	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>asparagi</i> / <i>Fusarium proliferatum</i>			Elmer e Pignatello (2011)
Biochar	Tomate	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i>			Silva et al. (2020)
Biochar	<i>Quercus rubra</i> <i>Acer rubrum</i>	<i>P. capsici</i> / <i>P. cinnamomi</i>			Zwart e Kim (2012)

Continua

Tabela 1. Continuação

Matéria orgânica	Cultura	Patógeno/doença	Mecanismo/bioagente	Volume aplicado e estratégia de aplicação	Referência
Fertilizantes orgânicos	Melância	Murcha de <i>Fusarium/F. oxysporum</i> f. sp. <i>niveum</i>	<i>Paenibacilluspolymyxa</i> SQR-21		Ling et al. (2010); Ling et al. (2014)
Quitina (resíduo de camarão)		<i>Verticillium dahliae</i>	Comunidade de <i>Actinobacteria</i> e <i>Oxalobacteraceae</i>		Cretoiu et al. (2013)
Sistemas orgânicos	Beterraba açucareira Rabanete e colza	<i>Rhizoctonia solani</i> e <i>Streptomyces scabies</i> <i>Verticillium longisporum</i>	Diversidade de fungos e bactérias		Postma et al. (2008)
Farelo de trigo e melaço	Alface Mostarda	<i>Meloidogyne hapla</i> <i>Plasmodiophora brassicae</i>	Desinfestação anaeróbica do solo	Aplicação de 20,2 t ha ⁻¹ e 10,1 t ha ⁻¹ de farelo de trigo e melaço, respectivamente, com cobertura de plástico preto	Testen e Miller (2019)
Farelo de arroz e melaço	Morango	<i>Verticillium dahliae</i>	Desinfestação anaeróbica do solo	Aplicação de farelo de arroz e melaço (20 t ha ⁻¹) ou metade da concentração de cada um, com cobertura de plástico preto.	Muramoto et al. (2014)
Indução de condúcência					
Lodo de esgoto	Milho	Podridão do colmo/ <i>Fusarium</i> spp.	EC, Mg e população de <i>Fusarium</i>	2, 4 e 8 vezes a dose recomendada. Aplicação por quatro anos consecutivos	Ghini et al. (2016)

Solos supressivos aos principais patógenos habitantes do solo, como *Aphanomyces*, *Fusarium*, *Gaeumannomyces*, *Heterodera*, *Macrophomina*, *Meloidogyne*, *Pythium*, *Phytophthora*, *Plasmodiophora*, *Ralstonia*, *Rhizoctonia*, *Sclerotium*, *Sclerotinia*, *Streptomyces*, *Thielaviopsis* e *Verticillium* são relatados (Mitchell; Alexander, 1961; Buxton et al., 1965; Eck, 1978; Lumsden et al., 1983; Gorodechi; Hadar, 1990; Mandelbaum; Hadar, 1990; Nelson; Craft, 1992; Asirifi et al., 1994; Volland; Epstein, 1994; Bettiol et al., 1997; Ehteshamul-Haque et al., 1997; Murakami et al., 2000; Haas; Défago, 2005; Bettiol et al., 2009; Freitas et al., 2009; Santos et al., 2009).

No presente capítulo serão abordados a classificação da supressividade dos solos; os mecanismos de supressividade dos solos; as dificuldades no uso da matéria orgânica como estratégia de manejo de patógenos habitantes do solo; e o controle de patógenos habitantes do solo por meio da desinfestação anaeróbica dos solos. O uso de fontes de matéria orgânica para a indução de supressividade será discutida em cada um dos tópicos.

Classificação da supressividade dos solos

A supressividade dos solos vem recebendo diferentes classificações ao longo dos anos. Assim, pode ser classificada quanto à origem em natural e induzida; quanto à forma de supressão ao patógeno e à doença; quanto ao tempo de duração a curto e a longo prazos; quanto à especificidade em geral e específica; e quanto à natureza em biótica e abiótica.

De acordo com Baker e Cook (1974), a inospitalidade natural de alguns solos aos fungos, bactérias e nematoides habitantes do solo pode ser descrita de três formas: 1) o patógeno não se estabelece; 2) o patógeno se estabelece, mas falha em causar a doença; 3) o patógeno se estabelece, causa doença, mas a severidade é reduzida com a monocultura. Na primeira estão os solos em que, normalmente, os patógenos não se estabelecem ou se estabelecem de forma fraca. A baixa ocorrência de doenças se deve aos fatores físicos, tais como teores de argila e de areia, tamanho de agregados, assim como aos fatores químicos, tais como pH, concentração de nutrientes e condutividade elétrica (Orellana et al., 1975; Schneider, 1982; Reis, 1991b; Höper; Alabouvette, 1996), em adição aos fatores biológicos. Na segunda, o desenvolvimento da doença é limitado ou não ocorre mesmo na presença do hospedeiro suscetível e do patógeno virulento, sendo a supressividade associada, principalmente, aos fatores biológicos, isto é, aos organismos existentes no solo, podendo ou não estar associado aos fatores químicos e físicos. A terceira forma é a menos frequente, na qual os solos apresentam, inicialmente, alta ocorrência da doença, por um determinado período, e, posteriormente, ocorre um lento declínio da doença. Esta terceira forma está associada principalmente à monocultura, que é a de menor ocorrência, tanto que uma recomendação básica para o controle dos principais patógenos habitantes do solo é justamente a rotação de cultura (Reis, 1991a). Esta classificação não impede, obrigatoriamente, que os mesmos princípios biológicos regulem as três formas sugeridas por Baker e Cook (1974). A induzida pode ser obtida pela aplicação de agentes de controle biológico ou por alterações no manejo da cultura, sendo que esses aspectos serão discutidos adiante. Não será discutido neste capítulo o uso de agentes de controle biológico, podendo ser encontrada ampla discussão em Bettiol e Morandi (2009) e Meyer et al. (2019).

Os solos supressivos também podem ser classificados como aqueles que suprimem os fitopatógenos - o solo apresenta a capacidade para reduzir a densidade de inóculo e suas atividades saprofíticas - e aqueles que suprimem a doença - o solo apresenta capacidade de reduzir a severidade da doença, mesmo com alta densidade de inóculo e a capacidade de sobrevivência do patógeno. Nesta classificação não se considera os fatores envolvidos, mas sim a forma de supressão.

Outra classificação importante é quanto à duração de tempo da supressividade, sendo que Hornby (1983) dividiu os solos supressivos em de longo e de curto prazo. Nos solos com supressividade de longo prazo, esta característica pode ser devida às propriedades físicas e químicas estáveis do solo, sendo observada por muitos anos, e muitas vezes desde o início da exploração do solo. Por outro lado, a supressividade de curto prazo pode ser resultado de alterações em práticas agrícolas, como fertilização, correção de acidez, cultivo mínimo, rotação de culturas e introdução de antagonistas, podendo desaparecer rapidamente com novas alterações. Nesta categoria de solos, a incorporação de matéria orgânica é uma das principais formas de se induzir a supressividade (Bettiol; Ghini, 2005). A incorporação de matéria orgânica altera as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (Lazarovits et al., 2009). Estas alterações serão discutidas ao longo do capítulo, exceto as alterações do microbioma do solo que é tema de um capítulo do presente livro.

A supressividade dos solos também pode ser dividida quanto à sua especificidade em supressividade geral e supressividade específica (Baker; Cook, 1974; Kariuki et al., 2015). A supressividade geral é o termo usado quando o solo apresenta uma capacidade de inibir as atividades ou o crescimento de patógenos habitantes do solo. De uma forma geral, está baseada na interação multitrófica associada com a biomassa total de microrganismos do solo, que pode ser estimulada por adição de matéria orgânica ou práticas que aumentem a atividade microbiana do solo. Por outro lado, quando a supressão do solo está relacionada com a inibição de um patógeno, especificamente por um organismo ou um grupo de organismos antagonísticos, é denominada de supressividade específica.

A supressividade dos solos também pode ser dividida quanto à sua natureza em biótica e abiótica. Os fatores bióticos que controlam doenças radiculares são os mais estudados e conhecidos (Bettiol; Ghini, 2005). A parte viva do solo é constituída por uma grande diversidade de organismos, como fungos, bactérias, oomicetos, nematoides, protozoários, anélidas, microartrópodos e outros. Contudo, fungos e bactérias, por serem os mais numerosos e por serem utilizados como agentes de biocontrole de patógenos habitantes do solo, são os

mais estudados. Entretanto, não são os únicos envolvidos na supressividade do solo. Assim, quanto maior a diversidade biológica do solo, maior a capacidade de suprimir os patógenos, sendo que diversas matérias orgânicas colaboram com o aumento da biodiversidade dos solos. Cada organismo apresenta um determinado potencial de reduzir as populações de patógenos habitantes do solo. Desta forma, práticas agrícolas que estimulem a sobrevivência e a multiplicação desses organismos para torná-lo supressivo devem ser buscadas. Os fatores abióticos, além da ação direta na indução da supressividade dos solos interferindo no ciclo de vida do patógeno, também interferem na supressividade de forma indireta, por meio do favorecimento da atividade microbiana. Teor de matéria orgânica, pH, condutividade elétrica, macro e micronutrientes, estrutura e textura, tipo de argila e retenção de água são as principais características físicas e químicas do solo envolvidas na supressividade. A supressividade natural dos solos, quando se deve a fatores biológicos pode ser quebrada pelo uso de pesticidas e outras práticas agrícolas, como correção do pH, fertilização intensa, e outros. Diversos aspectos da natureza biótica e abiótica da supressividade serão discutidos no próximo item deste capítulo.

Mecanismos de supressividade do solo

Conforme discutido, a saúde dos solos é uma característica ecológica, que envolve a qualidade dos solos, caracterizado por suas propriedades físicas e químicas - natureza abiótica - e biológicas, caracterizado pelas comunidades de macro e microrganismos - natureza biótica (Van Bruggen; Semenov, 2000). Práticas de manejo com o objetivo de manipular qualquer uma destas características para melhorar o desenvolvimento das culturas, controlar pragas, doenças e plantas daninhas podem indiretamente induzir ou reprimir a supressividade dos solos às doenças de plantas. Os mecanismos que governam a supressividade dos solos são, muitas vezes, hipotéticos ou desconhecidos (Mazzola, 2007). Entretanto, os recentes avanços no sequenciamento de próxima geração e nas tecnologias “ômicas”, permitiu o desenvolvimento de novas ferramentas para caracterizar a natureza da supressividade e melhorar a compreensão das interações microbianas, que se mostram cada vez mais intimamente relacionadas com a supressividade dos solos (Expósito et al., 2017). O solo é o habitat de sobrevivência de muitos organismos, que incluem os patógenos causadores de murchas ou podridões radiculares, como para os patógenos foliares necrotróficos e hemibiotróficos que passam parte do seu ciclo de vida nos restos culturais. Logo, o contexto ecológico, ou seja, a interação entre os organismos entre si e o ambiente ao seu entorno, ao longo do tempo, exerce grande influência nos mecanismos envolvidos na supressividade dos solos às doenças de plantas.

Mecanismos relacionados às interações microbianas

Os estudos visando entender as interações moleculares que ocorrem entre planta e patógeno, e os mecanismos responsáveis pela supressão das populações do patógeno, estão entre as áreas da pesquisa que mais atraem o interesse de pesquisadores (Cook, 2014). Por ser considerado como a base para a supressividade, o controle biológico por meio dos microrganismos residentes do solo é um dos principais responsáveis pela supressividade observada nos solos. A antibiose, o parasitismo, a competição, a predação (Cook; Baker, 1983) e a indução de resistência (Van Loon et al, 1998) são os principais mecanismos desenvolvidos por fungos, micorrizas, bactérias, colêmbolas, protozoários, nematoides, microartrópodos e minhocas para induzir a supressividade.

Os patógenos habitantes do solo passam a maior parte de sua existência como estruturas dormentes aguardando até que alguma semente germine, ou alguma raiz se desenvolva, e estimule a saída da fungistase por metabólitos exsudados na espermosfera ou na rizosfera. Ao contrário do que se supõe, os fungos patogênicos e habitantes do solo não germinam e não se desenvolvem pelo solo até encontrar uma raiz suscetível, e se ocorrer, será na escala de poucos milímetros ou em tecidos de hospedeiros. Em raras exceções, como é o caso de rizomorfos produzidos por espécies do fungo *Armillaria bulbosa*, as redes de hifas podem alcançar algumas centenas de metros quadrados (Smith et al., 1992), ou *Rhizoctonia* spp. que podem colonizar alguns centímetros entre os espaços porosos do solo (Otten et al., 2001). A afirmação, porém, não é verdadeira para oomicetos, nematoides e bactérias que possuem mecanismos próprios de movimentação. A dormência é uma característica adaptativa, conhecida como fungistase (no caso de fungos) ou microbiostase (microrganismos em geral) e é universal a todos os solos. A dormência é geralmente induzida pela escassez de nutrientes nos solos e ocorre em estruturas especializadas, como os escleródios e clamidósporos no caso de fungos, oósporos no caso de oomicetos, cistos no caso de nematoides e biofilme no caso de bactérias, ou sobre tecido morto colonizado pelo patógeno. Esta é uma importante forma de sobrevivência para os microrganismos e é uma característica adaptativa, pois protege os propágulos da perda de energia e até mesmo a morte, no caso de germinação na ausência do hospedeiro. Embora pareça contraditório, a dormência pode ser benéfica para a supressividade dos solos quando os patógenos não são capazes de reconhecer e infectar a planta por estarem sob efeito deste mecanismo. A grande diversidade de microrganismos presentes em alguns compostos orgânicos pode induzir a microbiostase em patógenos como *Phytophthora* spp. e *Pythium* spp. (Cook; Baker, 1983; Chen et al., 1988a). A grande biomassa e atividade microbiana nos substratos impedem os propágulos dos patógenos de germinar e infectar

o hospedeiro, os quais permanecem dormentes e tipicamente viáveis no solo (Chen et al., 1988a). O fenômeno pôde ser explicado pela metabolização dos exsudatos das plantas (ácidos graxos de cadeia longa) necessários para a germinação e infecção de *P. ultimum*, por um consórcio de microrganismos presentes em um composto supressivo (McKellar; Nelson, 2003). Nestes casos, não há evidências de produção de compostos inibitórios ou parasitismo direto sobre os propágulos de *P. ultimum* (Van Dijk; Nelson, 2000).

Grande parte dos fitopatógenos são saprófitas fracos e a competição por nutrientes e espaço no solo é feroz. Espécies de *Trichoderma* e *Fusarium oxysporum* não patogênicos foram relatadas suprimindo murchas de *Fusarium* devido a competição por carbono, nitrogênio e ferro (Sivan; Chet, 1989; Mandeel; Baker, 1991). Além disso, espécies não patogênicas de *F. oxysporum*, geralmente mais adaptadas ao ambiente, competem pela colonização da rizosfera com as espécies patogênicas de *Fusarium oxysporum* em diversos patossistemas (Eparvier; Alabouvette, 1994). Ademais, as espécies binucleadas ou hipovirulentas de *R. solani* suprimem espécies patogênicas de *Rhizoctonia solani* (Herr, 1995), e várias espécies de fungos, como *Phialophora dicicola* e *Idriella bolleyi* competem com *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* em trigo (Deacon, 1974; Douglas; Deacon, 1994).

Fungos micorrízicos, ectomicorrizas e micorrizas arbusculares, também são fortes competidores por espaço e sítios de infecção nas raízes (Whipps, 1997). Embora poucos estudos tenham sido realizados, é provável que o principal mecanismo que inclui micorrizas arbusculares envolva a indução de resistência e alteração da arquitetura das raízes das plantas ao invés da competição (Norman et al., 1996). As bactérias também são fortes competidores pelos nutrientes do solo, mais especificamente, o ferro. Bactérias produtoras de compostos quelantes de ferro ou sideróforos, como as espécies de *Pseudomonas*, sequestram o ferro do solo quando ele está presente em baixas concentrações, tornando-se indisponível para os fungos patogênicos, e conseqüentemente, limitando seu crescimento (Kloepper et al., 1980). Entretanto, o entendimento da competição por ferro é complexo, pois alguns sideróforos, como a pioverdina, podem também atuar como elicitores para a indução de resistência em alguns patossistemas. Geralmente, o incremento da quantidade de ferro no solo, que se deve a incorporação de compostos orgânicos ricos em ferro, pode tornar um solo supressivo em conducente, e elimina a competição (Duffy; Défago, 1999); enquanto que, a transferência ou inoculação de *Pseudomonas* produtoras de sideróforos pode tornar um solo conducente em supressivo, como demonstrado para *Fusarium oxysporum* e *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* (Kloepper et al., 1980; Couteaudier; Alabouvette, 1990).

O parasitismo é o mecanismo no qual um organismo coloniza as estruturas e propágulos de outro, resultando na lise de hifas ou morte dos propágulos de sobrevivência do organismo parasitado, que, nem sempre é o patógeno. O processo pode consistir em perceber o hospedeiro, seguido pelo crescimento ou multiplicação direcionada, contato, reconhecimento, adesão, penetração, colonização e saída. Nem todas as etapas ocorrem em todas as interações, mas o que importa é a transferência de nutrientes do hospedeiro para o parasita (Whipps, 2001). O mecanismo mais estudado nesse processo envolve a produção de enzimas extracelulares que degradam a parede celular de microrganismos, como quitinases, β 1-3 glucanases, celulasas e proteases (Whipps, 1997). O papel do parasitismo na supressividade dos solos foi observado em vários patógenos habitantes do solo, como o parasitismo de *Sclerotinia sclerotiorum* por *Coniothyrium minitans* (Gerlagh et al., 1999; Whipps et al., 2008), *Sclerotium rolfsii* por *Penicillium* spp. (Hadar; Gorodecki, 1991), *Rhizoctonia solani* e *Pythium ultimum* por *Trichoderma hamatum* (Chet et al., 1981) e *Verticillium biguttatum* (van den Boogert et al., 1989), *Fusarium oxysporum* f. sp. *raphani* por bactérias do solo, como *Pseudomonas stutzeri* e *Pimelobacter* spp. (Toyota; Kimura, 1993) e oomicetos como *Pythium ultimum* e *Pythium aphanidermatum* parasitados por *Pythium oligandrum* (Benhamou et al., 1999), entre inúmeras outras interações.

Bactérias produtoras de enzimas que degradam a parede celular, como *Stenotrophomonas maltophila* e *Pseudomonas fluorescens* que produzem proteases (Huang et al., 2009), *Bacillus cereus* e *Collimonas* spp. que produzem quitinases (De Boer et al., 2001; Drewnowska et al., 2020), também possuem um papel importante na supressividade dos solos contra fungos, oomicetos e nematoides. A aplicação de *Bacillus cereus* diretamente ao solo, protegeu mudas de algodão da podridão de raízes causada por *Rhizoctonia solani*. Como exemplo da aplicação prática deste mecanismo, ao incorporar resíduos orgânicos ricos em quitina pode estimular microrganismos que produzem quitinases para combater microrganismos que contém quitina em sua estrutura, como é o caso dos fungos e ovos de nematoides (Gortari; Hours, 2008).

A antibiose é, possivelmente, o principal mecanismo estudado na supressividade dos solos. É descrita como sendo a inibição do crescimento e/ou atividade de um organismo pelo outro por meio da produção de metabólitos específicos ou não (Thomashow; Pierson, 1991). Diversas moléculas foram descritas na supressão de patógenos habitantes do solo (Daguerre et al., 2014). Dentre as principais, encontram-se as pironas, policetídeos, peptaibois (peptídeos não-ribossômicos - NRP), gliotoxinas, gliovirinas, floculosinas, oxidases e proteínas de autoproteção contra toxinas, entre outros metabólitos

produzidos por fungos (Daguerre et al., 2014). Vários destes metabólitos possuem as rotas de síntese bem elucidadas, conhecendo-se inclusive os genes envolvidos na síntese.

Algumas espécies fúngicas como *Trichoderma* e *Coniothyrium minitans* produzem múltiplas proteínas com atividades antifúngicas. Policetídeos sintases (codificado pelo gene *pks4*), NRP sintases (*tex1*, *tex2*, *tex3*), gliotoxinas e gliovirinas (*gliI*, *gliC*, *gliK*) que atuam contra patógenos como *Alternaria alternata*, *Rhizoctonia solani*, *Sclerotinia sclerotiorum* e *Pythium ultimum* são produzidos por *Trichoderma virens* (Wei et al., 2005; Mukherjee et al., 2011; Atanasova et al., 2013). *Coniothyrium minitans*, importante agente de controle biológico contra *Sclerotinia sclerotiorum* produz várias destas toxinas e, além disso, possui um enorme arsenal de proteção contra suas próprias toxinas, como proteínas de resistência ao antibiótico leptomicina B, transportadores ABC, detoxificação (oxalato descarboxilase, *Cmoxdc1*) e mecanismos de reparação do DNA (DNA helicase, *PIF1*) (Muthumeenakshi et al., 2007; Rogers et al., 2008; Zeng et al., 2014).

As comunidades bacterianas, por sua vez, também apresentam um papel importante na antibiose. As bactérias produzem diferentes classes de compostos solúveis, como as bacteriocinas, NRPs e policetídeos, além de compostos voláteis, como os terpenos, compostos nitrogenados e indóis (Tyc et al., 2017). As actinobactérias e os gêneros *Pseudomonas*, *Bacillus* e *Burkholderia* são os principais grupos bacterianos estudados e produzem uma grande variedade de compostos (Raaijmakers; Mazzola, 2012; Esmaeel et al, 2018). A surfactina e iturina A são compostos antifúngicos que pertencem à classe dos NRP e são os metabólitos mais estudados produzidos pelo gênero *Bacillus* (Maget-Dana; Ptak, 1992; Jiang et al., 2016). O 2,4-diacetilfloroglucinol (DAPG) é um policetídeo produzido por espécies do gênero *Pseudomonas* associados com solos supressivos a *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* em trigo, *Fusarium oxysporum* f. sp. *lini* em linho e *R. solani* em beterraba açucareira (Raaijmakers; Weller, 1998; Bangerá; Thomashow, 1999; Mazurier et al., 2009; Latz et al., 2012).

As actinobactérias, como as pertencentes ao gênero *Streptomyces*, são importantes produtoras de terpenos com propriedades antibacterianas, como é o caso da albaflavenona (Gürtler et al., 1994). Outros compostos voláteis com atividades antimicrobianas podem ser produzidos por espécies do gênero *Pseudomonas*, *Bacillus* e *Chondromyces* (Dickschat et al., 2005).

A indução de resistência é o processo de ativação da resistência dependente de barreiras químicas e físicas da planta hospedeira, ativado por agentes bióticos ou abióticos (Kloepper et al., 1992). Basicamente, o mecanismo

é um estado de capacidade aumentado de defesa desenvolvido pela planta quando apropriadamente estimulada (Choudhary et al., 2007). As duas principais formas de defesa são a resistência sistêmica adquirida e a resistência sistêmica induzida (dos termos em inglês SAR e ISR, respectivamente), que se diferenciam pela natureza do elicitor e as vias de regulação envolvidas. A SAR é desencadeada pela exposição da planta a patógenos virulentos, avirulentos e não-patogênicos, e envolve a acumulação de proteínas relacionadas à patogênese (RP) reguladas pelo ácido salicílico. A ISR é regulada pelo ácido jasmônico e etileno, e pode ou não envolver a acumulação de proteínas RP dependendo do agente elicitor. Quando elicitada por ferimentos ou patógenos necrotróficos, ocorre a acumulação de proteínas RP. Este tipo de ISR e a SAR resultam na pré-acumulação de proteínas RP com propriedades antifúngicas (quitinases, glucanases e taumatinas), enzimas oxidativas (peroxidases, polifenoloxidasas e lipoxigenases) e compostos antimicrobianos de baixo peso molecular (fitoalexinas). No segundo tipo de ISR, o agente elicitor são rizobactérias não patogênicas que não induzem a acumulação de proteínas RP ou fitoalexinas. Porém, ocorre um aumento na intensidade das respostas de defesa da planta que são ativadas somente quando ocorre o ataque do patógeno e a doença é assim reduzida.

Para demonstrar a complexidade das vias de defesa, em algumas situações, que é dependente de condições ambientais, hospedeiro, patógeno e agente indutores, ocorre comunicação cruzada entre as vias de síntese que resultam na acumulação das proteínas RP (Pieterse et al., 2001). Como exemplo, espécies de fungos do gênero *Trichoderma* são capazes de induzir a resistência em plantas pela ativação da SAR (via do ácido salicílico) e ISR (via do ácido jasmônico) contra uma gama de organismos, que vai desde nematoides até fungos e bactérias (Salas-Marina et al., 2015; Monte et al., 2019). Um segundo exemplo é evidenciado por bactérias do gênero *Pseudomonas*. O isolado *Pseudomonas fluorescens* WCS374 é capaz de induzir respostas de defesa em rabanete (Leeman et al., 1995), mas não em *Arabidopsis* (Van Wees et al., 1997), enquanto que o isolado de *Pseudomonas fluorescens* WCS417 ativou a resistência sistêmica em *Arabidopsis*, rabanete e cravo (Duijff et al., 1993) e feijão e tomate (Meziane et al., 2005). Nestas mesmas culturas, outro isolado pertencente a espécie *Pseudomonas putida* WCS358 ativou a defesa apenas em *Arabidopsis*, feijão e tomate, mas não ativou a resistência sistêmica em cravo e rabanete (Duijff et al., 1993; Leeman et al., 1995; Van Wees et al., 1997; Meziane et al., 2005; Choudhary et al., 2007).

Mecanismos relacionados às propriedades químicas e físicas dos solos

As características químicas e físicas são comumente declaradas como não determinantes para a supressividade dos solos (Weller et al., 2002). Por outro lado, associações e correlações, entre algumas características químicas e físicas do solo, são frequentemente observadas com a redução da população do patógeno ou da severidade da doença (Bonanomi et al., 2010; Orr; Nelson, 2018; Heck et al., 2019). Para alguns patossistemas, por exemplo, a murcha de *Fusarium* da bananeira, algumas destas observações se devem às características naturais do solo (Bowen et al., 2019), em razão do manejo (Deltour et al., 2017) ou também podem ser induzidas pela incorporação de resíduos orgânicos ao solo, como lodo de esgoto e biocarvão (Heck et al., 2019). Heck et al. (2019) observaram correlações negativas entre murcha de *Fusarium* e P, K, Ca, Mg, Na, Zn, Mn e B, bem como com pH e CE que foram alteradas pela incorporação destas matérias orgânicas.

As características físico-químicas, como o teor de matéria orgânica, o pH, a fertilidade e a estrutura e textura do solo, podem atuar de forma direta ou indireta na supressividade, por meio da interferência direta na sobrevivência do patógeno ou da comunidade microbiana presente no solo.

O alto teor de matéria orgânica nos solos está relacionado com a maior supressividade, principalmente por permitir maior atividade e diversidade microbiana dos solos. Além disso, melhora as características físicas e químicas do solo, como aeração, retenção de umidade e fornecimento de nutrientes, hormônios, aminoácidos e substâncias de sua decomposição que podem controlar diretamente o patógeno ou ativar a resistência do hospedeiro (Bettiol et al., 2009). Solos com altos teores de C orgânico total apresentaram menor incidência de *Fusarium culmorum* em cevada (Rasmussen et al., 2002), tombamento de *Pythium* em tomate (Van Bruggen; Semenov, 2000), *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* em trigo (Pankhurst et al., 2002) e maior supressividade do solo à murcha de *Fusarium* (Höper et al., 1995).

A supressividade dos solos também pode estar associada ao pH dos solos. Em termos gerais, fungos são mais adaptados a solos com pH ácido, e bactérias a solos com pH alcalino. Logo, práticas de manejo que alteram o pH dos solos podem estar envolvidas com a indução de supressividade em alguns solos. Solos com pH próximo a 8,0 foram supressivos a *Streptomyces scabies*, *Plasmidiophora brassicae*, *Sclerotium* spp. e *Fusarium oxysporum* (Höper; Alabouvette, 1996). Solos com pH ácidos também foram supressivos a *Helicotylenchus dihystra* em cana-de-açúcar (Rimé et al., 2003) e *Streptomyces scabies* em batata (Lacey; Wilson, 2001). Embora haja casos em que a relação, pH e supressividade, tenha sido comprovada, na maioria dos trabalhos essas relações não são observadas

(Janvier et al., 2007; Bonanomi et al., 2010). Em algumas situações a redução do pH do solo devido à incorporação de matéria orgânica pode colaborar para o aumento da incidência de doenças, como observado por Bettiol (2004), que verificou que a incorporação de doses crescentes de lodo de esgoto ocasionou o aumento da incidência da podridão do colmo do milho causada por *Fusarium*.

Quantidades adequadas de macro e micronutrientes apresentam um papel essencial na supressividade, pois além de estarem envolvidos com os aspectos fisiológicos e morfológicos das plantas, também pode afetar a microbiota no solo e rizosfera (Bettiol et al., 2009). Em um trabalho clássico foi demonstrado que plantas de tomate expostas a baixos teores de N e P e altos níveis de K apresentaram maior predisposição à murcha de *Fusarium* (Foster; Walker, 1947). Altos níveis de Mg e K no solo estão associados a menores incidências de doenças fúngicas, como mal-do-pé do trigo e a murcha de *Fusarium* em bananeira (Duffy et al., 1997; Peng et al., 1999). Altos teores de Al, Fe, Na e Zn igualmente apresentam correlação negativa com o desenvolvimento de várias doenças (Janvier et al., 2007). O acréscimo de zinco aumentou a atividade de *Pseudomonas fluorescens* no controle de *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* por meio do estímulo à biossíntese de antibióticos, como o 2,4-DAPG (Duffy; Défago, 1997).

Em algumas situações, a concentração do nutriente e a forma do elemento também são importantes. Por exemplo, a amônia é tóxica para os microrganismos do solo, entretanto, a concentração necessária para inibir a germinação dos esporos fúngicos geralmente só é observada em solos com pH alcalino, arenosos e com baixos teores de matéria orgânica (Tenuta; Lazarovits, 2002; Lazarovits, 2010). Em solos ácidos, a degradação do N por bactérias nitrificadoras resulta na formação de nitrito (NO_2^-) e precipita íons H^+ responsáveis pela acidificação do pH do solo. Quando o pH é reduzido abaixo de 5,0, o nitrito é convertido em ácido nitroso (HNO_2) e permanece na solução do solo, que por sua vez, é 300 a 500 vezes mais tóxico a *Verticillium dahliae*, *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*, *Sclerotinia sclerotiorum* e *Streptomyces scabies* que a amônia (NH_3) (Tenuta; Lazarovits, 2002).

Um aspecto importante a ser considerado em relação à incorporação de matéria orgânica no solo com os teores de nutrientes é que a concentração de nutrientes não é equilibrada. Assim, diversas fontes de matéria orgânica podem fornecer altos teores de determinados elementos, e com isso conduzir o solo a aumentar a supressividade (Heck et al., 2019) ou mesmo aumentar a condutância a fitopatógenos (Ghini et al., 2016).

As propriedades físicas do solo, como textura, tipo de argila apresentam forte associação com a supressividade em alguns casos. Incremento nos teores

de areia dos solos em condições experimentais reduziu a supressividade a *Fusarium oxysporum* f. sp. *lini* em linho (Höper et al., 1995) e a podridão de raiz causada por *Armillaria* spp. em *Pinus contorta* (Mallett; Maynard, 1998). Da mesma forma, solos com altos teores de argila foram mais supressivos a *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* em trigo após a adição de *Trichoderma koningii* (Duffy et al., 1997) e a *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* em bananeira (Domínguez et al., 2001; Deltour et al., 2017). Para *Phytophthora lycopersici* em tomate, solos com altos teores de argila foram menos supressivos que solos com baixos teores de argila, possivelmente associado ao aumento na capacidade de retenção de água nos solos (Workneh et al., 1993).

Para a grande maioria dos casos apresentados, as propriedades físicas e químicas do solo não são determinantes para explicar a supressividade às doenças observadas. Entretanto, no contexto ecológico, estas propriedades podem contribuir significativamente para favorecer micro e macrorganismos benéficos, o desenvolvimento da planta, e alterar as características do ambiente para desfavorecer os patógenos. A manipulação em qualquer uma destas propriedades, com o objetivo de induzir a supressividade, leva a alterações nas demais, sendo difícil estabelecer exatamente a maior responsável pelos resultados observados (Bettiol et al., 2009).

Dificuldades no uso da matéria orgânica como estratégia de manejo de patógenos habitantes do solo

A aplicação de suplementos orgânicos tem sido proposta como uma estratégia para o manejo de doenças causadas por patógenos habitantes do solo. Entretanto, esses materiais desempenham papéis diferentes no controle de doenças de plantas: i) por melhorar as atividades de agentes de biocontrole recém introduzidos (Hoitink; Boehm, 1999); e, ii) por induzir a supressão natural de fitopatógenos pela ativação da microbiota do solo (Bonanomi et al., 2018). Materiais orgânicos muitas vezes são patógeno-específico na indução da supressividade e as respostas variam entre os tipos de patógeno (Bonanomi et al., 2020).

O controle confiável foi observado para *Thielaviopsis basicola* (Papavizas, 1968), *Phytophthora* (Aryantha et al., 2000), *Pythium* (Mckellar; Nelson, 2003), *Verticillium dahliae* (Noble; Coventry, 2005) e *Fusarium* spp. (Castaño et al., 2011). No entanto, o controle de *Rhizoctonia solani* com incorporação de materiais orgânicos é mais limitado (Copley et al., 2015; Neher et al., 2017; Bonanomi et al., 2020).

Os resultados inconsistentes dificultam o uso prático da suplementação orgânica para o manejo de patógenos habitantes do solo (Bonanomi et al.,

2007, 2010, 2020; Neher et al., 2017). Em uma extensa pesquisa sobre efeitos de compostos orgânicos, Termorshuizen et al. (2007) encontraram supressão a doenças em 54% de todos os casos, sem supressão significativa em 42,7% e aumento da doença em 3,3%. Por outro lado, ao revisar 1964 estudos experimentais, Bonanomi et al. (2007) constataram que em 45% dos casos a matéria orgânica apresentou efeito supressivo às doenças, enquanto que em 35% o efeito não foi significativo, e em 20% dos casos aumentou a incidência das doenças.

Uma abordagem bastante esclarecedora sobre a ambiguidade dos resultados da utilização de suplementos orgânicos no manejo de doenças causada por patógenos habitantes do solo foi realizada por Bonanomi et al. (2010). Na análise foram utilizados dados de 2.423 estudos derivados de 252 artigos publicados entre 1940 e 2006, que exploravam esta estratégia de controle. Nesta análise foram avaliadas: a capacidade de uma suplementação orgânica específica para controlar diferentes doenças; a influência da decomposição da matéria orgânica na supressividade de doenças; e a identificação da supressividade por meio das variáveis físicas, químicas e biológicas.

Os autores constataram que a matéria orgânica é consistentemente supressora para diferentes patógenos em estudos nos quais um número limitado de patógenos foi testado. Na maioria dos estudos, um material orgânico que induziu supressividade para um patógeno não foi eficaz ou foi conducente a outros patógenos, sugerindo que a supressividade induzida pela matéria orgânica é frequentemente específica ao patógeno. Quando três ou mais patógenos foram considerados, os resultados foram inconsistentes.

Como por exemplo, a aplicação de adubo verde com *Vicia sativa*, uma espécie fixadora de nitrogênio e que libera amônia durante a decomposição do resíduo, reduziu *Thielaviopsis basicola*, mas aumentou a incidência de *Pythium* spp. e *Rhizoctonia solani* (Rothrock; Kirkpatrick, 1995). Esta diferença poderia estar relacionada à maior sensibilidade de *Thielaviopsis basicola* à amônia (Candole; Rothrock, 1997). Em outro caso, Termorshuizen et al. (2007) relataram que um composto foi supressivo nos patossistemas *Cylindrocladium spathiphylli* - *Spathiphyllum*, *Rhizoctonia solani* - couve-flor, *Fusarium oxysporum* - linho e *Phytophthora nicotianae* - tomate, e conducente no patossistema, *Verticillium dahliae* - berinjela. No entanto, existem algumas exceções, pois Nelson e Boehm (2002) relataram que a aplicação de lodo de esgoto foi significativamente supressiva a cinco patógenos diferentes (*Laetisaria fuciformis*, *Pythium graminicola*, *Rhizoctonia solani*, *Sclerotinia homoeocarpa* e *Typhula incarnar*). Casos consistentes de indução de supressividade (Darby et al., 2006) ou de conduência (Tilston et al., 2002)

por suplementos orgânicos foram relativamente raros no conjunto de dados analisados por Bonanomi et al. (2010).

A introdução de suplementos orgânicos no solo ou em substratos de envasamento desencadeia um processo de decomposição que está relacionado a fatores como temperatura, umidade e qualidade da matéria orgânica (Schmidt et al., 2011; Berg; McClaugherty, 2014). O processo de decomposição modifica continuamente as características químicas das matérias orgânicas, bem como do microbioma associado, o que afeta a supressão da doença (Inderbitzin et al., 2017; Deng et al., 2020). A análise de Bonanomi et al. (2010) mostrou que a decomposição dos materiais orgânicos teve um efeito significativo na supressividade das doenças em 73% dos estudos analisados. Durante a decomposição, a supressão da doença aumentou, diminuiu, permaneceu inalterada ou mostrou respostas mais complexas, como as dinâmicas em forma de “u” (U) ou “corcunda” (∩), nos quais a supressividade pode ser maior ou menor, de acordo com o nível de decomposição, dose do composto e relação C/N.

A interconexão de diversas variáveis torna difícil a previsão do efeito da decomposição dos materiais orgânicos na indução da supressividade de patógenos habitantes do solo. Desta forma, é importante analisar e caracterizar os materiais orgânicos para entender melhor a sua qualidade química e física e alterações que ocorrem durante sua decomposição (Bonanomi et al., 2020). Assim, generalizações precisam ser evitadas e deve-se avaliar o potencial de cada material orgânico para cada patossistema e condições de uso.

A turfa é um produto natural derivado da acumulação progressiva de resíduos de planta e musgo decompostos sob condições de alagamento. Durante a decomposição, a turfa geralmente perde sua supressividade e esse resultado foi atribuído à redução progressiva de celulose, carboidratos e compostos orgânicos, facilmente degradáveis, que são necessários para sustentar agentes de controle biológico. Nesse contexto, turfas leves ou menos decompostas – classificadas como estádios H2 e/ou H3 – suportam maior atividade microbiana induzindo supressividade, em comparação com turfas escuras – classificadas como estágio H4 – que são frequentemente conducentes (Boehm et al., 1997). Para Hoitink e Boehn (1991), o nível de decomposição da matéria orgânica afeta diretamente tanto os antagonistas, como a severidade da doença. Boehm e Hoitink (1992) observaram que substrato produzido com turfa no estágio H2 e composto de casca de *Pinus* foram mais eficazes do que substrato produzido com turfa no estágio H4 na supressão de tombamento causado por *P. ultimum* em poinsetia.

A compostagem é realizada pela decomposição biológica de materiais orgânicos e obtém a sua estabilização química e sanitização de patógenos humanos e vegetais, bem como de sementes de ervas daninhas (Noble; Roberts, 2004). Entretanto, de modo geral, os compostos existentes no mercado são muito heterogêneos devido à diversidade de metodologias da compostagem, origem das matérias primas (por exemplo, resíduos municipais, estrumes de animais, podas de plantas) e, especialmente, ao estágio de maturidade (Tuitert et al., 1998). As interações desses fatores tornam difícil prever a eficácia de um composto na indução da supressividade.

O nível de decomposição de uma matéria orgânica pode estar relacionado à incompleta colonização microbiana do material (Scheuerell et al., 2005). A matéria orgânica, não completamente colonizada por microrganismos, ainda contém recursos de carbono orgânico e nutrientes disponíveis para utilização por patógenos saprofiticos para produção de inóculo. Contudo, à medida que a decomposição prossegue, a disponibilidade dessas fontes de carbono, facilmente degradáveis, diminui progressivamente e cria condições microbiostáticas que podem produzir um aumento da supressividade por favorecer saprófitos competitivos. No estágio final de decomposição, a comunidade microbiana esgota completamente os recursos baseados em carbono, o que pode causar uma redução da supressividade. Todas estas interações dificultam relacionar a decomposição dos compostos à supressividade (Bonanomi et al., 2010).

A relação entre o estágio de decomposição dos resíduos culturais e a supressão de doenças é muito variável. Em nove estudos com resíduos de plantas submetidos a períodos de decomposição foi verificado que a indução de supressividade a *Pythium* spp. aumentou durante o processo de decomposição, enquanto à *Rhizoctonia solani* muitas vezes diminuiu (Bonanomi et al., 2010). Esses comportamentos contraditórios desses dois patógenos podem estar relacionados às suas diferentes capacidades saprofiticas. As espécies de *Pythium* são saprófitas agressivas em materiais frescos como resíduos vegetais não decompostos (Rothrock; Kirkpatrick, 1995), juntamente com a capacidade de colonizar tecidos senescentes (Nelson, 2004), conferindo ao *Pythium* uma vantagem sobre microrganismos saprofiticos especializados. No entanto, uma vez que espécies de *Pythium* não são boas competidoras no solo, uma supressividade geral surge rapidamente em alguns dias após a adição de material orgânico em função do processo de decomposição (Grünwald et al., 2000). Em contraste, *Rhizoctonia solani* é um colonizador mais lento de matéria orgânica, mas mais competitivo do que *Pythium* spp. em substratos complexos ricos em celulose (Papavizas, 1970). Esta vantagem competitiva, em parte, se deve às enzimas que possui (Weinhold; Sinclair, 1996), que permitem que *Rhizoctonia*

solani utilize uma ampla gama de resíduos culturais com diferentes relações C/N (Croteau; Zibilske, 1998; Yulianti et al., 2006), conseqüentemente, com diferente resposta quanto à indução de supressividade.

O nível de indução de supressividade ou de conducência observado entre tipos de resíduos de culturas e urbano-industriais, compostos e turfas varia devido em virtude do estado de decomposição. Materiais não decompostos (restos culturais e resíduos orgânicos) abrangem todos os resultados possíveis, sendo supressivos ou conducentes na dependência do patógeno. Materiais mais decompostos (compostos maduros) são em média mais supressivos com menos casos de aumento da doença (Bonanomi et al., 2007). Finalmente, materiais extremamente decompostos, como as turfas, apresentam resultados menos variáveis, sendo ligeiramente supressivos ou moderadamente conducentes (Bonanomi et al., 2010). Ao avaliar os efeitos de composto de adubo verde, fração orgânica de resíduos municipais, pó de carne triturada, farinha de peixe, resíduo de alfafa, resíduo de milho, biocarvões (obtidos de serragem pirolisada a 300 °C e a 550 °C), fibra de coco, turfa, húmus, serragem, glicose e celulose, com períodos de decomposição variando de 3 a 300 dias, bem como a mistura desses materiais, Bonanomi et al. (2020) observaram que o tipo de matéria-prima e sua decomposição afetaram significativamente o crescimento das plantas de alface e a supressão de *Rhizoctonia solani*, a supressão consistente da doença ocorreu apenas para húmus. Pó de carne e farinha de peixe foram conducentes no curto (dias) e médio (semanas) prazo, mas supressivos daí em diante. Composto de adubo verde, serragem, celulose, fibra de coco, turfa e biocarvões apresentaram tendência de aumentar a supressividade com o tempo de decomposição. Por outro lado, glicose, resíduos de plantas (alfafa e milho) e fração orgânica de resíduos municipais apresentaram resposta variável à supressão da doença durante a decomposição.

O húmus, que foi o único suplemento orgânico que evidenciou supressão consistente da doença durante a decomposição (Bonanomi et al., 2020), tem uma composição química única, que além de ser rico em N orgânico com relação C/N baixa, é rico em compostos aromáticos acoplados com baixos teores de frações di-O-alkil C e O-alkil C relacionadas com açúcares e polissacarídeos acessíveis para populações microbianas. Considerando que, normalmente, *Rhizoctonia solani* prospera em suplementos orgânicos ricos em açúcares com frações de C lábeis e apresentou crescimento reduzido em materiais ricos em lignina e frações C aromáticas como húmus (Bonanomi et al., 2018), este parece ser o melhor suplemento orgânico para supressão deste patógeno. Contudo, em alta concentração, o húmus foi fitotóxico e este fato indica a importância de otimizar a taxa de aplicação para combinar a promoção do crescimento da planta e a supressão de doenças (Bonanomi et al., 2020).

Os suplementos orgânicos ricos em N e C lábil, como pó de carne, farinha de peixe, hidrolisado de peixe e emulsão de pescado, quando incorporados ao solo estão sujeitos a rápidas mudanças em um período de horas e/ou dias, com rápida liberação de nitrogênio (Bettiol et al., 2009; Cayuela et al., 2009; Lazarovits et al., 2009). O acúmulo de curto prazo e temporário de amônia, após a aplicação de pó de carne e farinha de peixe, pode suprimir doenças causadas por *Verticillium dahliae* inibindo seus microescleródios (Noble; Coventry, 2005; Abbasi et al., 2006). No entanto, pó de carne e farinha de peixe foram conducentes para o tombamento de plântulas de alface causado por *Rhizoctonia solani* em curto e médio prazos (Bonanomi et al., 2020).

Rhizoctonia solani, comparado com outros patógenos como *Pythium*, *Verticillium* e *Thielaviopsis*, é polífago e forte saprófita, capaz de explorar uma gama de tipos de suplementos orgânicos (Papavizas, 1970; Weinhold; Sinclair, 1996). Além disso, no curto prazo, o efeito fitotóxico desses suplementos orgânicos, em altas concentrações, pode interagir sinergicamente com *Rhizoctonia solani*, aumentando a incidência do tombamento de plântulas (Cesarano et al., 2017). Esses resultados evidenciam que generalizações não são adequadas em função da especificidade entre tipos de matérias orgânicas e patossistemas, sendo, portanto, indispensável a avaliação adequada dos efeitos das fontes de matéria orgânica sobre os patógenos individualmente. Desta forma, os suplementos orgânicos devem ser manejados com cuidado para obter as vantagens relacionadas com o suprimento de nutrientes, melhoria das propriedades físicas e aumento de supressividade, bem como para evitar os seus efeitos indesejáveis.

Fontes de matéria orgânica com elevada relação C/N, como serragem, fibra de coco, biocarvão, alguns compostos com lixos municipais e restos culturais se caracterizam por induzir a supressividade a *Rhizoctonia solani* com maior tempo de decomposição. Esse tipo de material orgânico estimula o desenvolvimento de um microbioma competitivo que limita o N mineral a longo prazo, o que causa prejuízo às atividades de patógenos como *Rhizoctonia solani* (Chung et al., 1988) e *Fusarium solani* (Snyder et al., 1959).

O biocarvão, em razão da natureza recalcitrante do carbono que não suporta atividade microbiana em curto prazo, a longo prazo a supressão da doença pode estar relacionada ao desenvolvimento de um microbioma supressor graças à estrutura porosa do biocarvão, que protege bactérias e fungos de antagonistas de estresses abióticos como a seca (Graber et al., 2014).

Outro aspecto a destacar é que suplementações orgânicas do solo têm um efeito dependente do tempo na fungistase e na inibição de patógenos. As aplicações repetidas de suplementos orgânicos reduzem o tempo necessário para

a restauração da fungistase e, conseqüentemente, a janela de oportunidade para os patógenos atacarem a planta. Além disso, a adição recorrente de compostos orgânicos facilmente decomponíveis aumenta a respiração e as capacidades catabólicas específicas do solo (Bonanomi et al., 2017). A conclusão é que a frequência de aplicação tem o potencial de aumentar, significativamente, a utilidade dos suplementos orgânicos como uma ferramenta no manejo de patógenos habitantes do solo se a relação entre a química e a eficácia dos suplementos orgânicos for compreendida.

A suplementação com matéria orgânica melhora a fertilidade e as propriedades físicas dos solos, e pode induzir a supressividade a fitopatógenos específicos, mas pode também resultar em efeitos neutros ou, até mesmo, negativos como o aumento da incidência e severidade de doenças. Melhorar o conhecimento sobre esses efeitos é um dos desafios da incorporação de matéria orgânica no solo.

Controle de patógenos habitantes do solo por meio da desinfestação anaeróbica dos solos

A desinfestação anaeróbica ou biológica dos solos (ASD - BSD) é um método de tratamento de solo, antes do plantio, que visa o controle de doenças das plantas causadas por patógenos habitantes do solo (Roskopf et al., 2015; Shrestha et al., 2016). A técnica é uma variante da solarização do solo ou da biofumigação/biosolarização (Katan, 1981; Gamliel; Stapleton, 1993). A desinfestação anaeróbica é obtida por meio da incorporação de fontes de matéria orgânica, ricas em carbono, facilmente degradáveis no solo, seguida da cobertura do solo com um filme plástico por um período de 2 a 15 semanas (Roskopf et al., 2015). Desta forma, com o aumento da respiração microbiana, que libera CO₂ e outros gases, há uma indução de condições anaeróbicas do solo e, conseqüentemente, a morte dos fitopatógenos.

Esta técnica foi desenvolvida com objetivo de substituir o uso de brometo de metila para o controle de patógenos do solo (Butler et al., 2014; Muramoto et al., 2014; Shrestha et al., 2016). Em metanálise, Shrestha et al. (2016) concluíram que a desinfestação anaeróbica do solo apresentou supressão entre 59% e 94% de fungos e oomicetos fitopatogênicos (*Cylindrocarpon*, *Fusarium*, *Macrophomina*, *Rhizoctonia*, *Sclerotium*, *Verticillium*), bactérias (*Ralstonia*) e oomicetos (*Pythium* e *Phytophthora*), exceto para *Sclerotinia* spp., e entre 15% e 56% para nematoides (*Meloidogyne*, *Pratylenchus* e *Globodera*) em tomate, berinjela, pimentão, batata e morango. Diversas fontes de matéria orgânica foram avaliadas (esterco, adubos verdes, crucíferas, resíduos agrícolas, etanol e melão), sendo que as efetivas foram entre 53% e 97%, em taxas superiores a

300 g m⁻². Muramoto et al. (2014) verificaram o controle de *Verticillium dahliae* em morango pela desinfestação anaeróbica do solo por meio do uso de farelo de arroz (20 t ha⁻¹) e melação (20 t ha⁻¹) ou a combinação da metade da dose de cada um. Testen e Miller (2019) ao incorporar farelo de trigo (20 t ha⁻¹), melação (10 t ha⁻¹) ou a mistura de farelo de trigo + melação verificaram redução na ocorrência de *Meloidogyne hapla* em alface e de *Plasmodiophora brassicae* em mostarda.

É necessário considerar-se que a desinfestação anaeróbica do solo, devido à incorporação de fontes de matéria orgânica, também apresenta efeito no desenvolvimento das plantas, nos ciclos do N e C, nas concentrações de macro e micronutrientes, no pH e na atividade microbiana do solo, bem como nas populações de organismos do solo (Rooskopf et al., 2015).

Considerações finais

A incorporação de matéria orgânica no solo para induzir a supressividade do solo a patógenos habitantes é uma prática de grande importância. Os mecanismos envolvidos vêm sendo descobertos com maiores detalhes com os avanços de diversas ferramentas, entre elas a biologia molecular. Contudo, os efeitos não podem ser generalizados no uso da matéria orgânica como estratégia de manejo de patógenos habitantes do solo. Para tanto, estudos com cada fonte de matéria e patossistema necessitam ser conduzidos para que todas as vantagens da incorporação de matéria orgânica sejam obtidas.

Agradecimentos

Wagner Bettiol (Processo: 307855/2019-8) e Sami Jorge Michereff (Processo: 309290/2019-8) agradecem ao CNPq pelas bolsas de produtividade em pesquisa. Os autores agradecem aos Engenheiros Agrônomos Alfredo Tsuzuki e Walter da Silva incentivadores da realização desta obra e incansáveis na busca por recursos para financiar esta publicação.

Referências

- ABBASI, P. A.; CONN, K. L.; LAZAROVITS, G. Effect of fish emulsion used as a preplanting soil amendment on *Verticillium* wilt, scab, and tuber yield of potato. *Canadian Journal of Plant Pathology*, v. 28, p. 509-518, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1080/07060660609507328>.
- ALFANO, G.; LUSTRATO, G.; LIMA, G.; VITULLO, D.; RANALLI, G. Characterization of composted olive mill wastes to predict potential plant disease suppressiveness. *Biological Control*, v. 58, p. 199-207, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2011.05.001>.
- ARAÚJO, F. F.; BETTIOL, W. Supressividade dos nematóides *Meloidogyne javanica* e *Heterodera glycines* em soja por adição de lodo de esgoto ao solo. *Ciência Rural*, v. 35, p. 806-812, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782005000400009>.
- ARYANTHA, I. P.; CROSS, R.; GUEST, D. I. Suppression of *Phytophthora cinnamomi* in potting mixes amended with uncomposted and composted animal manures. *Phytopathology*, v. 90, p. 775-782, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1094/PHYTO.2000.90.7.775>.

- ASIRIFI, K. N.; MORGAN, W. C.; PARBEY, D. G. Suppression of *Sclerotinia* soft rot of lettuce with organic soil amendments. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 34, p. 131-136, 1994. DOI: <https://doi.org/10.1071/EA9940131>.
- ATANASOVA, L.; KNOX, B. P.; KUBICEK, C. P.; DRUZHININA, I. S.; BAKER, S. E. The polyketide synthase gene *pkx4* of *Trichoderma reesei* provides pigmentation and stress resistance. **Eukaryotic Cell**, v. 12, p. 1499-1508, 2013. DOI: <https://doi.org/1128/EC.00103-13>.
- ATKINSON, G. F. Some diseases of cotton. **Bulletin Alabama Agricultural Experiment Station**, n. 41, p. 19-29, 1892.
- BAKER, K. F.; COOK, R. J. **Biological control of plant pathogens**. San Francisco: W. H. Freeman, 1974. 433 p.
- BANGERA, M. G.; THOMASHOW, L. S. Identification and characterization of a gene cluster for synthesis of the polyketide antibiotic 2,4-diacetylphloroglucinol from *Pseudomonas fluorescens* Q2-87. **Journal of Bacteriology**, v. 181, p. 3155-3163, 1999. DOI: <https://doi.org/10.1128/JB.181.10.3155-3163.1999>.
- BELLINI, A.; FERROCINO, I.; CUCU, M. A.; PUGLIESE, M.; GARIBALDI, A.; GULLINO, M. L. A compost treatment acts as a suppressive agent in *Phytophthora capsica* - *Cucurbita pepo* pathosystem by modifying the rhizosphere microbiota. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, e885, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00885>.
- BENHAMOU, N.; REY, P.; PICARD, K.; TIRILLY, Y. Ultrastructural and cytochemical aspects of the interaction between the mycoparasite *Pythium oligandrum* and soilborne plant pathogens. **Phytopathology**, v. 89, p. 506-517, 1999. DOI: <https://doi.org/10.1094/PHYTO.1999.89.6.506>.
- BERG, B.; MCCLAUGHERTY, C. **Plant litter: decomposition, humus formation, carbon sequestration**. 3. ed. Berlin: Springer-Verlag, 2014. 315 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-38821-7>.
- BETTIOL, W. Effect of sewage sludge on the incidence of corn stalk rot caused by Fusarium. **Summa Phytopathologica**, v. 30, p. 16-22, 2004.
- BETTIOL, W.; KRUGNER, T. L. Influência do lodo de esgoto na severidade da podridão de raiz do sorgo causada por *Pythium arthenomanes*. **Summa Phytopathologica**, v. 10, p. 243-251, 1984.
- BETTIOL, W.; GHINI, R. Solos supressivos. In: MICHEREFF, S. J.; ANDRADE, D. E. G. T.; MENEZES, M. (ed.). **Ecologia e manejo de patógenos radiculares em solos tropicais**. Recife: UFRPE, 2005. p. 124-152.
- BETTIOL, W.; MORANDI, M. A. B. (ed.). **Biocontrole de doenças de plantas: uso e perspectivas**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2009.
- BETTIOL, W.; MIGHELI, Q.; GARIBALDI, A. Controle, com matéria orgânica, do tombamento do pepino, causado por *Pythium ultimum* Trow. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 32, p. 57-61, 1997.
- BETTIOL, W.; GHINI, R.; MARIANO, R. L. R.; MICHEREFF, S. J.; MATTOS, L. P. V.; ALVARADO, I. C. M.; PINTO, Z. V. Supressividade a fitopatógenos habitantes do solo. In: BETTIOL, W.; MORANDI, M. A. B. (ed.). **Biocontrole de doenças de plantas: uso e perspectivas**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2009. p. 187-208.
- BOEHM, M. J.; HOITINK, H. A. J. Sustenance of microbial activity in potting mixes and its impact on severity of *Pythium* root rot of poinsettia. **Phytopathology**, v. 82, p. 259-264, 1992. DOI: <https://doi.org/10.1094/Phyto-82-259>.
- BOEHM, M. J.; WU, T.; STONE, A. G.; KRAAKMAN, B.; IANNOTTI, D. A. Cross polarized magic-angle spinning ^{13}C nuclear magnetic resonance spectroscopic characterization of soil organic matter relative to culturable bacterial species composition and sustained biological control of *Pythium* root rot. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 63, p. 162-168, 1997. DOI: <https://doi.org/10.1128/AEM.63.1.162-168.1997>.
- BONANOMI, G.; ANTIGNANI, V.; PANE, C.; SCALA, F. Suppression of soilborne fungal diseases with organic amendments. **Journal of Plant Pathology**, v. 89, p. 311-340, 2007.
- BONANOMI, G.; ANTIGNANI, V.; CAPODILUPO, M.; SCALA, F. Identifying the characteristics of organic soil amendments that suppress soilborne plant diseases. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 42, p. 136-144, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2009.10.012>.
- BONANOMI, G.; GAGLIONE, S. A.; CESARANO, G.; SARKER, T. C.; PASCALE, M.; SCALA, F.; ZOINA, A. Frequent applications of organic matter to agricultural soil increase fungistasis. **Pedosphere**, v. 27, p. 86-95, 2017. DOI: [https://doi.org/10.1016/s1002-0160\(17\)60298-4](https://doi.org/10.1016/s1002-0160(17)60298-4).
- BONANOMI, G.; LORITO, M.; VINALE, F.; WOO, S. L. Organic amendments, beneficial microbes, and soil microbiota: toward a unified framework for disease suppression. **Annual Review of Phytopathology**, v. 56, p. 1-20, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080615-100046>.
- BONANOMI, G.; ZOTTI, M.; IDBELLA, M.; DI SILVERIO, N.; CARRINO, L.; CESARANO, G.; ASSAEED, A. M.; ABD-ELGAWAD, A. M. Decomposition and organic amendments chemistry explain contrasting effects on plant growth promotion and suppression of *Rhizoctonia solani* damping off. **PLoS ONE**, v. 15, e0230925, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0230925>.

- BORRERO, C.; ORDOVÁS, J.; TRILLAS, M. I.; AVILÉS, M. Tomato Fusarium wilt suppressiveness: the relationship between the organic plant growth media and their microbial communities as characterised by Biolog[®]. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 38, p. 1631-1637, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2005.11.017>.
- BOWEN, A.; ORR, R.; MCBEATH, A. V.; PATTISON, A.; NELSON, P. N. Suppressiveness or conduciveness to Fusarium wilt of bananas differs between key Australian soils. *Soil Research*, v. 57, p. 158-165, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1071/SR18159>.
- BUTLER, D. M.; KOKALIS-BURELLE, N.; ALBANO, J. P.; MCCOLLUM, T. G.; MURAMOTO, J.; SHENNAN, C.; ROSSKOPF, E. N. Anaerobic soil disinfestation (ASD) combined with soil solarization as a methyl bromide alternative: vegetable crop performance and soil nutrient dynamics. *Plant Soil*, v. 378, p. 365-381, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2030-z>.
- BUXTON, W.; KHALIFA, O.; WARD, V. Effect of soil amendment with chitin on pea wilt caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *pisi*. *Annals of Applied Biology*, v. 55, p. 83-88, 1965. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1965.tb07870.x>.
- CANDOLE, B. L.; ROTHROCK, C. S. Characterization of the suppressiveness of hairy vetch-amended soils to *Thielaviopsis basicola*. *Phytopathology*, v. 87, p. 197-202, 1997. DOI: <https://doi.org/10.1094/PHYTO.1997.87.2.197>.
- CASTAÑO, R.; BORRERO, C.; AVILÉS, M. Organic matter fractions by SP-MAS 13 C NMR and microbial communities involved in the suppression of *Fusarium* wilt in organic growth media. *Biological Control*, v. 58, p. 286-293, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2011.05.011>.
- CAYUELA, M. L.; SINICCO, T.; MONDINI, C. Mineralization dynamics and biochemical properties during initial decomposition of plant and animal residues in soil. *Applied Soil Ecology*, v. 41, p. 118-127, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2008.10.001>.
- CESARANO, G.; DE FILIPPIS, F.; LA STORIA, A.; SCALA, F.; BONANOMI, G. Organic amendment type and application frequency affect crop yields, soil fertility and microbiome composition. *Applied Soil Ecology*, v. 120, p. 254-264, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.08.017>.
- CHEN, W.; HOITINK, H. A. J.; MADDEN, L. V. Microbial activity and biomass in container media for predicting suppressiveness to damping-off caused by *Pythium ultimum*. *Phytopathology*, v. 78, p. 1447-1450, 1988a. DOI: <https://doi.org/10.1094/Phyto-78-1447>.
- CHEN, W.; HOITINK, H. A. J.; SCHMITTHENNER, F.; TUOVINEN, O. H. The role of microbial activity in suppression of damping-off caused by *Pythium ultimum*. *Phytopathology*, v. 78, p. 314-322, 1988b. DOI: <https://doi.org/10.1094/Phyto-78-314>.
- CHET, I.; HARMAN, G. E.; BAKER, R. *Trichoderma hamatum*: Its hyphal interactions with *Rhizoctonia solani* and *Pythium* spp. *Microbial Ecology*, v. 7, p. 29-38, 1981. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02010476>.
- CHOUDHARY, D. K.; PRAKASH, A.; JOHRI, B. N. Induced systemic resistance (ISR) in plants: Mechanism of action. *Indian Journal of Microbiology*, v. 47, p. 289-297, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12088-007-0054-2>.
- CHUNG, Y. R.; HOITINK, H. A. J.; DICK, W. A.; HERR, L. J. Effects of organic matter decomposition level and cellulose amendment on the inoculum potential of *Rhizoctonia solani* in hardwood bark media. *Phytopathology*, v. 78, p. 836-840, 1988. DOI: <https://doi.org/10.1094/Phyto-78-836>.
- CONN, K. L.; TENUTA, M.; LAZAROVITS, G. Liquid swine manure can kill *Verticillium dahliae* microsclerotia in soil by volatile fatty acid, nitrous acid, and ammonia toxicity. *Phytopathology*, v. 95, p. 28-35, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1094/PHYTO-95-0028>.
- COOK, R. J. Plant health management: pathogen suppressive soils. *Encyclopedia of Agriculture and Food Systems*, v. 4, p. 441-455, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-52512-3.00182-0>.
- COOK, R.; BAKER, K. *The nature and practice of biological control of plant pathogens*. St.Paul: APS Press, 1983. 539 p.
- COPELEY, T. R.; ALIFERIS, K. A.; JABAJI, S. Maple bark biochar affects *Rhizoctonia solani* metabolism and increases damping-off severity. *Phytopathology*, v. 105, p. 1334-1346, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1094/PHYTO-08-14-0231-R>.
- COUTEAUDIER, Y.; ALABOUVETTE, C. Quantitative comparison of *Fusarium oxysporum* competitiveness in relation to carbon utilization. *FEMS Microbiology Letters*, v. 74, p. 261-267, 1990. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.1990.tb04072.x>.
- CRETOIU, M. S.; KORTHALS, G. W.; VISSER, J. H. M.; VAN ELSAS, J. D. Chitin amendment increases soil suppressiveness toward plant pathogens and modulates the actino- bacterial and oxalobacteraceal communities in an experimental agricultural field. *Applied Environment Microbiology*, v. 79, p. 5291-5301, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1128/AEM.01361-13>.
- CROTEAU, G. A.; ZIBILSKÉ, L. M. Influence of papermill processing residuals on saprophytic growth and disease caused by *Rhizoctonia solani*. *Applied Soil Ecology*, v. 10, p. 103-115, 1998. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(98\)00035-3](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(98)00035-3).
- DAGUERRE, Y.; SIEGEL, K.; EDEL-HERMANN, V.; STEINBERG, C. Fungal proteins and genes associated with biocontrol mechanisms of soil-borne pathogens: A review. *Fungal Biology Reviews*, v. 28, p. 97-125, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbr.2014.11.001>.

- DARBY, H. M.; STONE, A. G.; DICK, R. P. Compost and manure mediated impacts on soilborne pathogens and soil quality. *Soil Science Society American Journal*, v. 70, p. 347-358, 2006. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj2004.0265>.
- DE BOER, W.; KLEIN GUNNEWIEK, P. J. A.; KOWALCHUK, G. A.; VAN VEEN, J. A. Growth of chitinolytic dune soil β -subclass Proteobacteria in response to invading fungal hyphae. *Applied and Environmental Microbiology*, v. 67, p. 3358-3362, 2001. DOI: <https://doi.org/10.1128/AEM.67.8.3358-3362.2001>.
- DEACON, J. W. Further studies on *Phialophora radicolica* and *Gaeumannomyces graminis* on roots and stem bases of grasses and cereals. *Transactions of the British Mycological Society*, v. 63, p. 307-318, 1974. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(74\)80177-4](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(74)80177-4).
- DELTOUR, P.; FRANÇA, S. C.; PEREIRA, O. L.; CARDOSO, I.; DE NEVE, S.; DEBODE, J.; HÖFTE, M. Disease suppressiveness to Fusarium wilt of banana in an agroforestry system: Influence of soil characteristics and plant community. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 239, p. 173-181, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.01.018>.
- DENG, X.; ZHANG, N.; SHEN, Z.; ZHU, C.; LI, R.; SALLES, J. F.; SHEN, Q. Rhizosphere bacteria assembly derived from fumigation and organic amendment triggers the direct and indirect suppression of tomato bacterial wilt disease. *Applied Soil Ecology*, v. 147, e103364, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.103364>.
- DICKSCHAT, J. S.; REICHENBACH, H.; WAGNER-DÖBLER, I.; SCHULZ, S. Novel pyrazines from the myxobacterium *Chondromyces crocatus* and marine bacteria. *European Journal of Organic Chemistry*, v. 2005, p. 4141-4153, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1002/ejoc.200500280>.
- DOMÍNGUEZ, J.; NEGRÍN, M. A.; RODRÍGUEZ, C. M. Aggregate water-stability, particle-size and soil solution properties in conducive and suppressive soils to Fusarium wilt of banana from Canary Islands (Spain). *Soil Biology and Biochemistry*, v. 33, p. 449-455, 2001. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(00\)00184-X](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(00)00184-X).
- DOUGLAS, L. I.; DEACON, J. W. Strain variation in tolerance of water stress by *Idriella (Microdochium) bolleyi*, a biocontrol agent of cereal root and stem base pathogens. *Biocontrol Science and Technology*, v. 4, p. 239-249, 1994. DOI: <https://doi.org/10.1080/09583159409355332>.
- DREWNOWSKA, J. M.; FIODOR, A.; BARBOZA-CORONA, J. E.; SWIECICKA, I. Chitinolytic activity of phylogenetically diverse *Bacillus cereus* sensu lato from natural environments. *Systematic and Applied Microbiology*, v. 43, p. 126075, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.syapm.2020.126075>.
- DUFFY, B. K.; DÉFAGO, G. Macro- and microelement fertilizers influence the severity of fusarium crown and root rot of tomato in a soilless production system. *HortScience*, v. 34, p. 287-291, 1999. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.34.2.287>.
- DUFFY, B. K.; DÉFAGO, G. Zinc improves biocontrol of Fusarium crown and root rot of tomato by *Pseudomonas fluorescens* and represses the production of pathogen metabolites inhibitory to bacterial antibiotic biosynthesis. *Phytopathology*, v. 87, p. 1250-1257, 1997. DOI: <https://doi.org/10.1094/PHYTO.1997.87.12.1250>.
- DUFFY, B. K.; OWNLEY, B. H.; WELLER, D. M. Soil chemical and physical properties associated with suppression of take-all of wheat by *Trichoderma koningii*. *Phytopathology*, v. 87, p. 1118-1124, 1997. DOI: <https://doi.org/10.1094/PHYTO.1997.87.11.1118>.
- DUIJFF, B. J.; MEIJER, J. W.; BAKKER, P. A. H. M.; SCHIPPERS, B. Siderophore-mediated competition for iron and induced resistance in the suppression of fusarium wilt of carnation by fluorescent *Pseudomonas* spp. *Netherlands Journal of Plant Pathology*, v. 99, p. 277-289, 1993. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF01974309>.
- ECK, W. H. Autolysis of chlamydo spores of *Fusarium solani* f.sp. *cucurbitae* in chitin and laminarin amended soils. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 10, p. 89-92, 1978. DOI: [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(78\)90076-7](https://doi.org/10.1016/0038-0717(78)90076-7).
- EHTESHAMUL-HAQUE, S.; SULTANA, V.; ARA, J.; QASIM, R.; GHAFAR, A. Use of crustacean chitin and plant growth promoting bacteria for the control of *Meloidogyne javanica* root knot nematode in chickpea. *Pakistan Journal of Nematology*, v. 15, p. 89-93, 1997.
- ELMER, W. H.; PIGNATELLO, J. J. Effect of biochar amendments on mycorrhizal associations and Fusarium crown and root rot of asparagus in replant soils. *Plant Disease*, v. 95, p. 960-966, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1094/PDIS-10-0741>.
- EPARVIER, A.; ALABOUVETTE, C. Use of ELISA and GUS-transformed strains to study competition between pathogenic and non-pathogenic *Fusarium oxysporum* for root colonization. *Biocontrol Science and Technology*, v. 4, p. 35-47, 1994. DOI: <https://doi.org/10.1080/09583159409355310>.
- ESMAEEL, Q.; PUPIN, M.; JACQUES, P.; LECLÈRE, V. Nonribosomal peptides and polyketides of *Burkholderia*: new compounds potentially implicated in biocontrol and pharmaceuticals. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 25, p. 29794-29807, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9166-3>.
- EXPÓSITO, R. G.; DE BRUIJN, I.; POSTMA, J.; RAAIJMAKERS, J. M. Current insights into the role of rhizosphere bacteria in disease suppressive soils. *Frontiers in Microbiology*, v. 8, 2529, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02529>.

- FOSTER, R.; WALKER, J. Predisposition of tomato to Fusarium wilt. **Journal of Agricultural Research**, v. 74, p. 165-185, 1947.
- FREITAS, L. G.; PODESTÁ, G. S.; FERRAZ, S.; COUTINHO, M. M. Supressividade de solo a *Meloidogyne* por *Pasteuria penetrans* nos Estados do Maranhão e Santa Catarina. In: BETTIOL, W.; MORANDI, M. A. B. (ed.). **Biocontrole de doenças de plantas: uso e perspectivas**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2009. p. 153-172.
- FU, L.; RUAN, Y.; TAO, C.; LI, R.; SHEN, Q. Continuous application of bioorganic fertilizer induced resilient culturable bacteria community associated with banana Fusarium wilt suppression. **Scientific Report**, v. 6, e27731, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1038/srep27731>.
- FU, L.; PENTON, C. R.; RUAN, Y.; SHEN, Z.; XUE, C.; LI, R.; SHEN, Q. Inducing the rhizosphere microbiome by biofertilizer application to suppress banana Fusarium wilt disease. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 104, p. 39-48, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2016.10.008>.
- GAMLIEL, A.; STAPLETON, J. Characterization of antifungal volatile compounds evolved from solarized soil amended with cabbage residues. **Phytopathology**, v. 83, p. 899-905, 1993. DOI: <https://doi.org/10.1094/Phyto-83-899>.
- GERLAGH, M.; GOOSSEN-VAN DE GEIJN, H. M.; FOKKEMA, N. J.; VEREIJKEN, P. F. G. Long-term biosanitation by application of *Coniothyrium minitans* on *Sclerotinia sclerotiorum*-infected crops. **Phytopathology**, v. 89, p. 141-147, 1999. DOI: <https://doi.org/10.1094/PHYTO.1999.89.2.141>.
- GHINI, R.; PATRICIO, F. R. A.; BETTIOL, W.; ALMEIDA, I. M. G.; MAIA, A. H. N. Effect of sewage sludge on suppressiveness to soil-borne plant pathogens. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 39, p. 2797-2805, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.06.002>.
- GHINI, R.; FORTES, N. L. P.; NAVAS-CORTES, J. A.; SILVA, C. A.; BETTIOL, W. Combined effects of soil biotic and abiotic factors, influenced by sewage sludge incorporation, on the incidence of corn stalk rot. **PLoS ONE** v. 11, e0155536, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0155536>.
- GORODECHI, B.; HADAR, Y. Suppression of *Rhizoctonia solani* and *Sclerotium rolfsii* diseases in container media containing composted separated cattle manure and composted grape marc. **Crop Protection**, v. 9, p. 271-274, 1990.
- GORTARI, M. C.; HOURS, R. A. Fungal chitinases and their biological role in the antagonism onto nematode eggs. A review. **Mycological Progress**, v. 7, p. 221-238, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11557-008-0571-3>.
- GRABER, E. R.; FRENKEL, O.; JAISWAL, A. K.; ELAD, Y. How may biochar influence severity of diseases caused by soilborne pathogens? **Carbon Management**, v. 5, p. 169-183, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1080/17583004.2014.913360>.
- GRÜNWARD, N. J.; HU, S.; VAN BRUGGEN, A. H. C. Short-term cover crop decomposition in organic and conventional soils: soil microbial and nutrient cycling indicator variables associated with different levels of soil suppressiveness to *Pythium aphanidermatum*. **European Journal of Plant Pathology**, v. 106, p. 51-60, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1008772715133>.
- GÜRTLER, H.; PEDERSEN, R.; ANTHONI, U.; CHRISTOPHERSEN, C.; NIELSEN, P. H.; WELLINGTON, E. M. H.; PEDERSEN, C.; BOCK, K. Alballenone, a sesquiterpene ketone with a zizaene skeleton produced by a streptomycete with a new rope morphology. **The Journal of Antibiotics**, v. 47, p. 434-439, 1994. DOI: <https://doi.org/10.7164/antibiotics.47.434>.
- HAAS, D.; DÉFAGO, G. Biological control of soil-borne pathogens by fluorescent pseudomonads. **Nature Reviews Microbiology**, v. 3, p. 307-319, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1038/nrmicro1129>.
- HADAR, Y.; GORODECKI, B. Suppression of germination of sclerotia of *Sclerotium rolfsii* in compost. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 23, p. 303-306, 1991. DOI: [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(91\)90068-U](https://doi.org/10.1016/0038-0717(91)90068-U).
- HECK, D. W.; GHINI, R.; BETTIOL, W. Deciphering the suppressiveness of banana Fusarium wilt with organic residues. **Applied Soil Ecology**, v. 138, p. 47-60, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.02.021>.
- HERR, L. J. Biological control of *Rhizoctonia solani* by binucleate *Rhizoctonia* spp. and hypovirulent *R. solani* agents. **Crop Protection**, v. 14, p. 179-186, 1995. DOI: [https://doi.org/10.1016/0261-2194\(95\)00017-G](https://doi.org/10.1016/0261-2194(95)00017-G).
- HOITINK, H. A. J.; BOEHM, M. J. Interaction between organic matter decomposition level, biocontrol agents and plant pathogens in soilborne disease. In: REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE CONTROLE BIOLÓGICO DE DOENÇAS DE PLANTAS, 4., 1991, Campinas. **Anais ... Jaguariúna: CNPMA**, 1991. p. 63-77.
- HOITINK, H. A. J.; BOEHM, M. J. Biocontrol within the context of soil microbial communities: a substrate-dependent phenomenon. **Annual Review of Phytopathology**, v. 37, p. 427-446, 1999. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.37.1.427>.
- HOITINK, H. A. J.; FAHY, P. C. Basis for the control of soilborne plant pathogens with composts. **Annual Review of Phytopathology**, v. 24, p. 93-114, 1986. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.py.24.090186.000521>.
- HÖPER, H.; ALABOUVETTE, C. Importance of physical and chemical soil properties in the suppressiveness of soil to plant diseases. **European Journal of Soil Biology**, v. 32, p. 41-58, 1996.

- HÖPER, H.; STEINBERG, C.; ALABOUVETTE, C. Involvement of clay type and pH in the mechanisms of soil suppressiveness to fusarium wilt of flax. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 27, p. 955-967, 1995. DOI: [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(94\)00238-V](https://doi.org/10.1016/0038-0717(94)00238-V).
- HORNBY, D. (ed.). **Biological control of soil-borne plant pathogens**. Wallingford: CAB International, 1990. 479 p.
- HORNBY, D. Suppressive soils. *Annual Review of Phytopathology*, v. 21, p. 65-85, 1983. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.py.21.090183.000433>.
- HUANG, X.; LIU, J.; DING, J.; HE, Q.; XIONG, R.; ZHANG, K. The investigation of nematocidal activity in *Stenotrophomonas maltophilia* G2 and characterization of a novel virulence serine protease. *Canadian Journal of Microbiology*, v. 55, p. 934-942, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1139/w09-045>.
- HUBER, D. M.; SCHNEIDER, R. W. The description and occurrence of suppressive soils. In: SCHNEIDER, R. W. (Ed.). **Suppressive soils and plant disease**. St Paul: APS Press, 1982. p. 1-7.
- HUBER, D. M.; WATSON, R. D. Effect of organic amendment on soil-borne plant pathogens. *Phytopathology*, v. 60, p. 22-26, 1970. DOI: <https://doi.org/10.1094/Phyto-60-22>.
- INDERBITZIN, P.; WARD, J.; BARBELLA, A.; SOLARES, N.; IZYUMIN, D.; BURMAN, P.; CHELLEMI, D. O.; SUBBARAO, K. V. Soil microbiomes associated with Verticillium wilt suppressive broccoli and chitin amendments are enriched with potential biocontrol agents. *Phytopathology*, v. 108, p. 31-43, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1094/PHYTO-07-17-0242-R>.
- JANVIER, C.; VILLENEUVE, F.-O.; ALABOUVETTE, C.; EDEL-HERMANN, V.; MATEILLE, T.; STEINBERG, C. Soil health through soil disease suppression: Which strategy from descriptors to indicators? *Soil Biology and Biochemistry*, v. 39, p. 1-23, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2006.07.001>.
- JIANG, J.; GAO, L.; BIE, X.; LU, Z.; LIU, H.; ZHANG, C.; LU, F.; ZHAO, H. Identification of novel surfactin derivatives from NRPS modification of *Bacillus subtilis* and its antifungal activity against *Fusarium moniliforme*. *BMC Microbiology*, v. 16, p. 1-14, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12866-016-0645-3>.
- KARIUKI, G. M.; MURIUKI, L. K.; KIBIRO, E. M. The impact of suppressive soils on plant pathogens and agricultural productivity. In: MEGHVANSI, M. K.; VARMA, A. (ed.). **Organic amendments and soil suppressiveness in plant disease management**. New York: Springer, 2015, p. 3-23.
- KATAN, J. Solarization heating (solarization) of soil for control of soilborne pest. *Annual Review of Phytopathology*, v. 19, p. 211-236, 1981. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.py.19.090181.001235>.
- KLOEPPER, J. W.; LEONG, J.; TEINTZE, M.; SCHROTH, M. N. *Pseudomonas* siderophores: A mechanism explaining disease-suppressive soils. *Current Microbiology*, v. 4, p. 317-320, 1980. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.py.19.090181.001235>.
- KLOEPPER, J. W.; TUZUN, S.; KUC, J. A. Proposed definitions related to induced disease resistance. *Biocontrol Science and Technology*, v. 2, p. 349-351, 1992. DOI: <https://doi.org/10.1080/09583159209355251>.
- LACEY, M. J.; WILSON, C. R. Relationship of common scab incidence of potatoes grown in Tasmanian ferrosol soils with pH, exchangeable cations and other chemical properties of those soils. *Journal of Phytopathology*, v. 149, p. 679-683, 2001. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1439-0434.2001.00693.x>.
- LATZ, E.; EISENHAEUER, N.; RALL, B. C.; ALLAN, E.; ROSCHER, C.; SCHEU, S.; JOUSSET, A. Plant diversity improves protection against soil-borne pathogens by fostering antagonistic bacterial communities. *Journal of Ecology*, v. 100, p. 597-604, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2011.01940.x>.
- LAZAROVITS, G. Managing soilborne disease of potatoes using ecologically based approaches. *American Journal of Potato Research*, v. 87, p. 401-411, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12230-010-9157-0>.
- LAZAROVITS, G.; ABBASI, P. A.; CONN, K. L.; HILL, J. E.; HEMMINGSEN, S. M. Fish emulsion and liquid swine manure: model systems for development of organic amendments as fertilizers with disease suppressive properties. In: BETTIOL, W.; MORANDI, M. A. B. (ed.). **Biocontrol de doenças de plantas: uso e perspectivas**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2009. p. 49-67.
- LEEMAN, M.; VAN PELT, J. A.; DEN OUDEN, F. M.; HEINSBROEK, M.; BAKKER, P. A. H. M.; SCHIPPERS, B. Induction of systemic resistance by *Pseudomonas fluorescens* in radish cultivars differing in susceptibility to Fusarium wilt, using a novel bioassay. *European Journal of Plant Pathology*, v. 101, p. 655-664, 1995. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF01874869>.
- LEONI, C.; GHINI, R. Sewage sludge effect on management of *Phytophthora nicotianae* in citrus. *Crop Protection*, v. 25, p. 10-22, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2005.03.004>.
- LING, N.; XUE, C.; HUANG, Q. W.; YANG, X. M.; XU, Y. C.; SHEN, Q. R. Development of a mode of application of bioorganic fertilizer for improving the biocontrol efficacy to Fusarium wilt. *Biocontrol*, v. 55, p. 673-683, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10526-010-9290-1>.

- LING, N.; DENG, K.; SONG, Y.; WU, Y.; ZHAO, J.; RAZA, W.; HUANG, Q.; SHEN, Q. Variation of rhizosphere bacterial community in watermelon continuous mono-cropping soil by long-term application of a novel bioorganic fertilizer. **Microbiological Research**, v. 169, p. 570-578, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.micres.2013.10.004>.
- LUMSDEN, R. D.; LEWIS, J. A.; MILLNER, P. D. Effect of composted sewage sludge on several soilborne pathogens and diseases. **Phytopathology**, v. 73, p. 1543-1548, 1983. DOI: <https://doi.org/10.1094/Phyto-73-1543>.
- MAGE-DANA, R.; PTAK, M. Interfacial properties of surfactin. **Journal of Colloid And Interface Science**, v. 153, p. 285-291, 1992. DOI: [https://doi.org/10.1016/0021-9797\(92\)90319-H](https://doi.org/10.1016/0021-9797(92)90319-H).
- MALLETT, K. I.; MAYNARD, D. G. Armillaria root disease, stand characteristics, and soil properties in young lodgepole pine. **Forest Ecology and Management**, v. 105, p. 37-44, 1998. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(97\)00294-6](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(97)00294-6).
- MANDEEL, Q.; BAKER, R. Mechanisms involved in biological control of Fusarium wilt of cucumber with strains of nonpathogenic *Fusarium oxysporum*. **Phytopathology**, v. 81, p. 462-469, 1991. DOI: <https://doi.org/10.1094/Phyto-81-462>.
- MANDELBAUM, R.; HADAR, Y. Effects of available carbon source on microbial activity and suppression of *Pythium aphanidermatum* in compost and peat container media. **Phytopathology**, v. 80, p. 794-804, 1990. DOI: <https://doi.org/10.1094/Phyto-80-794>.
- MAZURIER, S.; CORBERAND, T.; LEMANCEAU, P.; RAAIJMAKERS, J. M. Phenazine antibiotics produced by fluorescent pseudomonads contribute to natural soil suppressiveness to Fusarium wilt. **ISME Journal**, v. 3, p. 977-991, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1038/ismej.2009.33>.
- MAZZOLA, M. Manipulation of rhizosphere bacterial communities to induce suppressive soils. **Journal of Nematology**, v. 39, p. 213-220, 2007.
- MCKELLAR, M. E.; NELSON, E. B. Compost-induced suppression of *Pythium* damping-off is mediated by fatty-acid-metabolizing seed-colonizing microbial communities. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 69, p. 452-460, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1128/AEM.69.1.452-460.2003>.
- MEGHVANSI, M. K.; VARMA, A. **Organic amendments and soil suppressiveness in plant disease management**. New York: Springer, 2015. 531 p.
- MELERO-VARA, J. M.; LÓPEZ-HERRERA, C. J.; PRADOS-LIGERO, A. M.; VELA-DELGADO, M. D.; NAVAS-BECERRA, J. A.; BASALLOTE-UREBA, M. J. Effects of soil amendment with poultry manure on carnation Fusarium wilt in greenhouses in southwest Spain. **Crop Protection**, v. 30, p. 970-976, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2011.03.022>.
- MENZIES, J. D. Occurrence and transfer of a biological factor in soil that suppresses potato scab. **Phytopathology**, v. 49, p. 648-652, 1959.
- MEYER, M. C.; MAZARO, S. M.; SILVA, J. C. **Trichoderma: uso na agricultura**. Brasília: Embrapa, 2019. 538 p.
- MEZIANE, H.; VAN DER SLUIS, I.; VAN LOON, L. C.; HÖFTE, M.; BAKKER, P. A. H. M. Determinants of *Pseudomonas putida* WCS358 involved in inducing systemic resistance in plants. **Molecular Plant Pathology**, v. 6, p. 177-185, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2005.00276.x>.
- MITCHELL, R.; ALEXANDER, M. Chitin and the biological control of Fusarium diseases. **Plant Disease Reporter**, v. 45, p. 487-490, 1961.
- MITSUBOSHI, M.; KIOKA, Y.; NOGUCHI, K.; ASAKAWA, S. Evaluation of suppressiveness of soils exhibiting soil-borne disease suppression after long-term application of organic amendments by the co-cultivation method of pathogenic *Fusarium oxysporum* and indigenous soil microorganisms. **Microbes and Environments**, v. 33, p. 58-65, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1264/jsme2.ME17072>.
- MONTE, E.; BETTIOL, W.; HERMOSA, R. *Trichoderma* e seus mecanismos de ação para o controle de doenças de plantas. In: MEYER, M. C.; MAZARO, S. M.; SILVA, J. C. (ed.) **Trichoderma: uso na agricultura**. Embrapa, Brasília, p. 181-199, 2019.
- MUKHERJEE, P. K.; WIEST, A.; RUIZ, N.; KEIGHTLEY, A.; MORAN-DIEZ, M. E.; MCCLUSKEY, K.; POUCHUS, Y. F.; KENERLEY, C. M. Two classes of new peptidols are synthesized by a single non-ribosomal peptide synthetase of *Trichoderma virens*. **Journal of Biological Chemistry**, v. 286, p. 4544-4554, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1074/jbc.M110.159723>.
- MURAKAMI, H.; TSUHIMA, S.; SHISHIDO, Y. Soil suppressiveness to clubroot disease of Chinese cabbage caused by *Plasmodiophora brassicae*. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 32, p. 1637-1642, 2000. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(00\)00079-1](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(00)00079-1).
- MURAMOTO, J.; SHENNAN, C.; BAIRD, G.; ZAVATTA, M.; KOIKE, S. T.; BOLDA, M. P.; DAUGOVISH, O.; DARA, S. K.; KLONSKY, K.; MAZZOLA, M. Optimizing anaerobic soil disinfection for California strawberries. **Acta Horticulturae**, v. 1044, p. 215-220, 2014. DOI: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2014.1044.25>.
- MUTHUMEENAKSHI, S.; SREENIVASAPRASAD, S.; ROGERS, C. W.; CHALLEN, M. P.; WHIPPS, J. M. Analysis of cDNA transcripts from *Coniothyrium minitans* reveals a diverse array of genes involved in key processes during sclerotial mycoparasitism. **Fungal Genetics and Biology**, v. 44, p. 1262-1284, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fgb.2007.07.011>.
- NEHER, D. A.; FANG, L.; WEICHT, T. R. Ecoenzymes as indicators of compost to suppress *Rhizoctonia solani*. **Compost Science Utilization**, v. 25, p. 251-261, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1080/1065657X.2017.1300548>.

- NELSON, E. B. Microbial dynamics and interactions in the spermosphere. **Annual Review of Phytopathology**, v. 42, p. 271-309, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.42.121603.131041>.
- NELSON, E. B.; BOEHM, M. J. Compost-induced suppression of turf grass diseases. **BioCycle**, v. 43, p. 51-55, 2002.
- NELSON, E. B.; CRAFT, C. M. Suppression of dollar spot on creeping bentgrass and annual bluegrass turf with compost-amended topdressings. **Plant Disease**, v. 76, p. 954-9958. 1992. DOI: <https://doi.org/10.1094/PD-76-0954>.
- NOBLE, R.; COVENTRY, E. Suppression of soil-borne plant diseases with composts: a review. **Biocontrol Science and Technology**, v. 15, p. 3-20, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1080/09583150400015904>.
- NOBLE, R.; ROBERTS, S. J. Eradication of plant pathogens and nematodes during composting: a review. **Plant Pathology**, v. 53, p. 548-568, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.0032-0862.2004.01059.x>.
- NORMAN, J. R.; ATKINSON, D.; HOOKER, J. E. Arbuscular mycorrhizal fungal-induced alteration to root architecture in strawberry and induced resistance to the root pathogen *Phytophthora fragariae*. **Plant and Soil**, v. 185, p. 191-198, 1996. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02257524>.
- ORELLANA, R. G.; FOY, C. D.; FLEMING, A. L. Effect of soluble aluminum on growth and pathogenicity of *Verticillium albo-atrum* and *Whetzelinia sclerotiorum* from sunflower. **Phytopathology**, v. 65, p. 202-205, 1975. DOI: <https://doi.org/10.1094/Phyto-65-202>.
- ORR, R.; NELSON, P. N. Impacts of soil abiotic attributes on Fusarium wilt, focusing on bananas. **Applied Soil Ecology**, v. 132, p. 20-33, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.06.019>.
- OTTEN, W.; HALL, D.; HARRIS, K.; RITZ, K.; YOUNG, I. M.; GILLIGAN, C. A. Soil physics, fungal epidemiology and the spread of *Rhizoctonia solani*. **New Phytologist**, v. 151, p. 459-468, 2001. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.0028-646x.2001.00190.x>.
- PANE, C.; SPACCINI, R.; PICCOLO, A.; SCALA, F.; BONANOMI, G. Compost amendments enhance peat suppressiveness to *Pythium ultimum*, *Rhizoctonia solani* and *Sclerotinia minor*. **Biological Control**, v. 56, p. 15-124, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2010.10.002>.
- PANKHURST, C. E.; MCDONALD, H. J.; HAWKE, B. G.; KIRKBY, C. A. Effect of tillage and stubble management on chemical and microbiological properties and the development of suppression towards cereal root disease in soils from two sites in NSW, Australia. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 34, p. 833-840, 2002. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(02\)00014-7](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(02)00014-7).
- PAPAVIZAS, G. C. Colonization and growth of *Rhizoctonia Solani* in soil. In: PARMETER JR., J. R. (ed.). *Rhizoctonia solani*: biology and pathology, Berkeley: University of California Press, 1970. p. 108-122.
- PAPAVIZAS, G. C. Survival of root-infecting fungi in soil. IV. Effect of amendments on bean root rot caused by *Thielaviopsis basicola* and on inoculum density of the causal organism. **Phytopathology**, v. 58, p. 421-428, 1968.
- PAPAVIZAS, G. C.; LUMSDEN, R. D. Biological control of soil-borne fungal propagules. **Annual Review of Phytopathology**, v. 18, p. 389-413, 1980. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.py.18.090180.002133>.
- PENG, H. X. X.; SIVASITHAMPARAM, K.; TURNER, D. W. W. Chlamyospore germination and Fusarium wilt of banana plantlets in suppressive and conducive soils are affected by physical and chemical factors. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 31, p. 1363-1374, 1999. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(99\)00045-0](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(99)00045-0).
- PIETERSE, C. M. J.; TON, J.; VAN LOON, L. C. Cross-talk between plant defence signaling pathways: boost or burden? **Agri Biotech Net**, v. 3, p. 1-18, 2001.
- PINTO, Z. V.; BETTIOL, W.; MORANDI, M. A. B. Efeito de casca de camarão, hidrolisado de peixe e quitosana no controle da murcha de *Fusarium oxysporum* f. sp. *chrysanthemi* em crisântemo. **Tropical Plant Pathology**, v. 35, p. 16-23, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1982-56762010000100003>.
- PINTO, Z. V.; MORANDI, M. A. B.; BETTIOL, W. Induction of suppressiveness to Fusarium wilt of chrysanthemum with composted sewage sludge. **Tropical Plant Pathology**, v. 38, p. 414-422, 2013. <https://doi.org/10.1590/S1982-56762013005000026>.
- POSTMA, J.; SCHILDER, M. T.; BLOEM, J.; VAN LEEUMEN-HAAGSMA, W. K. Soil suppressiveness and functional diversity of the soil microflora in organic farming systems. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 40, p. 2394-2406, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2008.05.023>.
- RAAJMAKERS, J. M.; MAZZOLA, M. Diversity and natural functions of antibiotics produced by beneficial and plant pathogenic bacteria. **Annual Review of Phytopathology**, v. 50, p. 403-424, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-081211-172908>.
- RAAJMAKERS, J. M.; WELLER, D. M. Natural plant protection by 2,4-diacetylphloroglucinol-producing *Pseudomonas* spp. in Take-all decline soils. **Molecular Plant-Microbe Interactions**, v. 11, p. 144-152, 1998. DOI: <https://doi.org/10.1094/MPMI.1998.11.2.144>.
- RAMIREZ-VILLAPUDUA, J.; MUNNECKE, D. E. Effect of solar heating and soil amendments of cruciferous residues on *Fusarium oxysporum* f. sp. *conglutinans* and other organisms. **Phytopathology**, v. 78, p. 239-295, 1988. DOI: <https://doi.org/10.1094/Phyto-78-289>.

- RASMUSSEN, P. H.; KNUDSEN, I. M. B.; ELMHOLT, S.; JENSEN, D. F. Relationship between soil cellulolytic activity and suppression of seedling blight of barley in arable soils. *Applied Soil Ecology*, v. 19, p. 91-96, 2002. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(01\)00177-9](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(01)00177-9).
- REIS, E. Controle biológico do mal-do-pé do trigo. In: BETTIOL, W. (ed.) **Controle biológico de doenças de plantas**. Jaguariúna. EMBRAPA CNPDA, 1991a. p. 295-301.
- REIS, E. Solos supressivos e seu aproveitamento no controle de doenças de plantas. In: BETTIOL, W. (ed.). **Controle biológico de doenças de plantas**. Jaguariúna. EMBRAPA CNPDA, 1991b. p. 181-193.
- RIMÉ, D.; NAZARET, S.; GOURBIÈRE, F.; CADET, P.; MOËNNE-LOCCOZ, Y. Comparison of sandy soils suppressive or conducive to ectoparasitic nematode damage on sugarcane. *Phytopathology*, v. 93, p. 1437-1444, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1094/PHYTO.2003.93.11.1437>.
- ROGERS, C. W.; CHALLEN, M. P.; MUTHUMEENAKSHI, S.; SREENIVASAPRASAD, S.; WHIPPS, J. M. Disruption of the *Coniothyrium minitans* PIFI DNA helicase gene impairs growth and capacity for sclerotial mycoparasitism. *Microbiology*, v. 154, p. 1628-1636, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1099/mic.0.2008/017020-0>.
- ROSSKOPF, E. N.; SERRANO-PÉREZ, P.; HONG, J.; SHRESTHA, U.; RODRÍGUEZ-MOLINA, M. C.; MARTIN, K.; KOKALIS-BURELLE, N.; SHENNAN, C.; MURAMOTO, J.; BUTLER, D. Anaerobic soil disinfection and soilborne pest management. In: MEGHVANSI, M. K.; VARMA, A. (ed.). **Organic amendments and soil suppressiveness in plant disease management**. New York: Springer, 2015. p. 277-305.
- ROTHROCK, C. S.; KIRKPATRICK, T. L. The influence of winter legume cover crops on soilborne plant pathogens and cotton seedling diseases. *Plant Disease*, v. 79, p. 167-171, 1995. DOI: <https://doi.org/10.1094/PD-79-0167>.
- SALAS-MARINA, M. A.; ISORDIA-JASSO, M. I.; ISLAS-OSUNA, M. A.; DELGADO-SÁNCHEZ, P.; JIMÉNEZ-BREMONT, J. F.; RODRÍGUEZ-KESSLER, M.; ROSALES-SAAVEDRA, M. T.; HERRERA-ESTRELLA, A.; CASAS-FLORES, S. The Epl1 and Sm1 proteins from *Trichoderma atroviride* and *Trichoderma virens* differentially modulate systemic disease resistance against different life style pathogens in *Solanum lycopersicum*. *Frontiers in Plant Science*, v. 6, 77, 2015. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00077>.
- SANTOS, I.; BETTIOL, W. Effect of sewage sludge on the rot and seedling damping-off of bean plants caused by *Sclerotium rolfsii*. *Crop Protection*, v. 22, p. 1093-1097, 2003. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(03\)00140-6](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(03)00140-6).
- SANTOS, I.; TOMAZELI, V. N.; MORALES, R. G. F. Resíduos orgânicos e solarização para o controle das doenças do feijoeiro causadas por *Sclerotium rolfsii*. In: BETTIOL, W.; MORANDI, M. A. B. (ed.). **Biocontrole de doenças de plantas: uso e perspectivas**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2009. p. 209-224.
- SCHEUERELL, S. J.; SULLIVAN, D. M.; MAHAFFEE, W. F. Suppression of seedling damping-off caused by *Pythium ultimum*, *P. irregulare*, and *Rhizoctonia solani* in container media amended with a diverse range of Pacific Northwest compost sources. *Phytopathology*, v. 95, p. 306-315, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1094/PHYTO-95-0306>.
- SCHMIDT, M. W.; TORN, M. S.; ABIVEN, S.; DITTMAR, T.; GUGGENBERGER, G.; JANSSENS, I. A.; KLEBER, M.; KÖGEL-KNABNER, I.; LEHMANN, J.; MANNING, D. A. C.; NANNIPIERI, P.; RASSE, D. P.; WEINER, S.; TRUMBORE, S. E. Persistence of soil organic matter as an ecosystem property. *Nature*, v. 478, p. 49-56, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature10386>.
- SCHNEIDER, R. W. **Suppressive soils and plant disease**. St. Paul: APS Press, 1982. 85 p.
- SHRESTHA, U.; AUGÉ, R. M.; BUTLER, D. M. A meta-analysis of the impact of anaerobic soil disinfection on pest suppression and yield of horticultural crops. *Frontiers in Plant Science*, v. 7, 1254, 2016. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01254>.
- SCHROTH, M. N.; HANCOCK, J. G. Selected topics in biological control. *Annual Review of Microbiology*, v. 35, p. 453-476, 1981. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.mi.35.100181.002321>.
- SILVA, L. G.; ANDRADE, C. A.; BETTIOL, W. Biochar amendment increases soil microbial biomass and plant growth and suppress Fusarium wilt in tomato. *Tropical Plant Pathology*, v. 45, p. 73-83, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40858-020-00332-1>.
- SIVAN, A.; CHET, I. The possible role of competition between *Trichoderma harzianum* and *Fusarium oxysporum* on rhizosphere colonization. *Phytopathology*, v. 79, p. 198-203, 1989. DOI: <https://doi.org/10.1094/Phyto-79-198>.
- SMITH, M. L.; BRUHN, J. N.; ANDERSON, J. B. The fungus *Armillaria bulbosa* is among the largest and oldest living organisms. *Nature*, v. 356, p. 428-431, 1992. DOI: <https://doi.org/10.1038/356428a0>.
- SNYDER, W. C.; SCHROTH, M. N.; CHRISTOU, T. Effect of plant residues on root rot of beans. *Phytopathology*, v. 49, p. 755-756, 1959.
- ST. MARTIN, C. C. G. Enhancing soil suppressiveness using compost and compost tea. In: MEGHVANSI, M. K.; VARMA, A. (ed.). **Organic amendments and soil suppressiveness in plant disease management**. New York: Springer, 2015. p. 25-49.

- TENUTA, M.; LAZAROVITS, G. Ammonia and nitrous acid from nitrogenous amendments kill the microsclerotia of *Verticillium dahliae*. *Phytopathology*, v. 92, p. 255-264, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1094/PHTO.2002.92.3.255>.
- TERMORSHUIZEN, A. J.; VAN RIJN, E.; VAN DER GAAG, D. J.; ALABOUVETTE, C.; CHEN, Y.; LAGERLOF, J.; MALANDRAKIS, A. A.; PAPLOMATAS, E. J.; RAMERT, B.; RYCKEBOER, J.; STEINBERG, C.; ZMORA-NAHUM, S. Suppressiveness of 18 composts against 7 pathosystems: variability in pathogen response. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 38, p. 2461-2477, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2006.03.002>.
- TESTEN, A. L.; MILLER, S. A. Anaerobic soil disinfestation to manage soilborne diseases in Muck soil vegetable production systems. *Plant Disease*, v. 103, p. 1757-1762, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1094/PDIS-09-18-1578-RE>.
- THOMASHOW, L. S.; PIERSON, L. S. Genetic aspects of phenazine antibiotic production by fluorescent pseudomonads that suppress Take-all disease of wheat. In: HENNECKE, H.; VERMA, D. P. S. (ed.). *Advances in molecular genetics of plant-microbe interactions*. Dordrecht:Springer, 1991. p. 443-449.
- TILSTON, E. L.; PITT, D.; GROENHOF, A. C. Composted recycled organic matter suppresses soil-borne diseases of field crops. *New Phytologist*, v. 154, p. 731-740, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2002.00411.x>.
- TOYOTA, K.; KIMURA, M. Colonization of chlamydospores of *Fusarium oxysporum* f. sp. *raphani* by soil bacteria and their effects on germination. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 25, p. 193-197, 1993. DOI: [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(93\)90026-8](https://doi.org/10.1016/0038-0717(93)90026-8).
- TUITERT, G.; SZCZECZ, M.; BOLLEN, G. J. Suppression of *Rhizoctonia solani* in potting mixtures amended with compost made from organic household waste. *Phytopathology*, v. 88, p. 764-773, 1998. DOI: <https://doi.org/10.1094/PHTO.1998.88.8.764>.
- TYC, O.; SONG, C.; DICKSCHAT, J. S.; VOS, M.; GARBEVA, P. The ecological role of volatile and soluble secondary metabolites produced by soil bacteria. *Trends in Microbiology*, v. 25, p. 280-292, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tim.2016.12.002>.
- VAN BRUGGEN, A. H. C.; SEMENOV, A. M. In search of biological indicators for soil health and disease suppression. *Applied Soil Ecology*, v. 15, p. 13-24, 2000. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(00\)00068-8](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(00)00068-8).
- VAN DEN BOOGERT, P. H. J. F.; REINARTZ, H.; SJOLLEMA, K. A.; VEENHUIS, M. Microscopic observations on the interaction of the mycoparasite *Verticillium biguttatum* with *Rhizoctonia solani* and other soil-borne fungi. *Antonie van Leeuwenhoek*, v. 56, p. 161-174, 1989. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00399979>.
- VAN DIJK, K.; NELSON, E. B. Fatty acid competition as a mechanism by which *Enterobacter cloacae* suppresses *Pythium ultimum* sporangium germination and damping-off. *Applied and Environmental Microbiology*, v. 66, p. 5340-5347, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1128/aem.66.12.5340-5347.2000>.
- VAN LOON, L. C.; BAKKER, P. A. H. M.; PIETERSE, C. M. J. Systemic resistance induced by rhizosphere bacteria. *Annual Review of Phytopathology*, v. 36, p. 453-483, 1998. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.36.1.453>.
- VAN WEES, S. C. M.; PIETERSE, C. M. J.; TRIJSSENAAR, A.; VAN 'T WESTENDE, Y. A. M.; HARTOG, F.; VAN LOON, L. C. Differential induction of systemic resistance in *Arabidopsis* by biocontrol bacteria. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, v. 10, p. 716-724, 1997. DOI: <https://doi.org/10.1094/MPMI.1997.10.6.716>.
- VILLAR, A. C.; MEJIA, E. Z.; GARCIA, R. Efecto de la incorporacion de residuos de cruciferas (Brassicacae) sobre fitopatogenos del suelo. II. Efecto de la incorporacion del col y brocoli sobre la pudricion blanca (*S. cepivorum* Berk) de la cebolla, bajo condiciones de invernadero. *Revista Mexicana de Fitopatologia*, v. 8, p. 160-165, 1990.
- VISCONTI, A.; BETTIOL, W.; MORANDI, M. A. B. Efeito de hidrolisado de peixe sobre o crescimento micelial e controle de *Cylindrocladium spathiphylli* em espatifilo. *Summa Phytopathologica*, v. 36, p. 298-308, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-54052010000400004>.
- VOLAND, R. P.; EPSTEIN, A. H. Development of suppressiveness to diseases caused by *Rhizoctonia solani* in soils amended with composted and noncomposted manure. *Plant Disease*, v. 78, p. 461-466, 1994. DOI: <https://doi.org/10.1094/PD-78-0461>.
- WEI, X.; YANG, F.; STRANEY, D. C. Multiple non-ribosomal peptide synthetase genes determine peptaibol synthesis in *Trichoderma virens*. *Canadian Journal of Microbiology*, v. 51, p. 423-429, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1139/w05-006>.
- WEINHOLD, A. R.; SINCLAIR, J. B. *Rhizoctonia solani*: penetration, colonization, and host response. In: SNEH, B.; JABAJI-HARE, S.; NEATE, S. M.; DIJST, G. (ed.). *Rhizoctonia species: taxonomy, molecular biology, ecology, pathology and disease control*. Dordrecht: Kluwer, 1996. p. 163-174.
- WELLER, D. M.; RAAIJMAKERS, J. M.; GARDENER, B. B. M.; THOMASHOW, L. S. Microbial populations responsible for specific soil suppressiveness to plant pathogens. *Annual Review of Phytopathology*, v. 40, p. 309-348, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.40.030402.110010>.
- WHIPPS, J. M. Developments in the biological control of soil-borne plant pathogens. *Advances in Botanical Research*, v. 26, p. 1-134, 1997. DOI: [10.1016/S0065-2296\(08\)60119-6](https://doi.org/10.1016/S0065-2296(08)60119-6).

WHIPPS, J. M. Microbial interactions and biocontrol in the rhizosphere. **Journal of Experimental Botany**, v. 52, p. 478-511, 2001. DOI: https://doi.org/10.1093/jexbot/52.suppl_1.487.

WHIPPS, J. M.; SREENIVASAPRASAD, S.; MUTHUMEENAKSHI, S.; ROGERS, C. W.; CHALLEN, M. P. Use of *Coniothyrium minitans* as a biocontrol agent and some molecular aspects of sclerotial mycoparasitism. **European Journal of Plant Pathology** v. 121, p. 323-330, 2008. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8780-6_11.

WORKNEH, F.; VAN BRUGGEN, A. H.; DRINKWATER, L. E.; SHENNAN, C. Variables associated with corky root and Phytophthora root rot of tomatoes in organic and conventional farms. **Phytopathology**, v. 83, p. 581, 1993. DOI: <https://doi.org/10.1094/Phyto-83-581>.

YULIANTI, T.; SIVASITHAMPARAM, K.; TURNER, D. W. Saprophytic growth of *Rhizoctonia solani* Kühn AG2-1 (ZG5) in soil amended with fresh green manures affects the severity of damping-off in canola. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 38, p. 923-930, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2005.07.014>.

ZENG, L. M.; ZHANG, J.; HAN, Y. C.; YANG, L.; WU, M.; JIANG, D. H.; CHEN, W.; LI, G. Q. Degradation of oxalic acid by the mycoparasite *Coniothyrium minitans* plays an important role in interacting with *Sclerotinia sclerotiorum*. **Environmental Microbiology**, v. 16, p. 2591-2610, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1111/1462-2920.12409>.

ZWART, D. C.; KIM, S.H. Biochar amendment increases resistance to stem lesions caused by *Phytophthora* spp. in tree seedlings. **HortScience**, v. 47, p. 1736-1740, 2012. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.47.12.1736>.