

Tendências e realidades no manejo fitossanitário

Inorbert de Melo Lima¹; Cláudio Pagotto Rochi²; Marlon Vagner Valentim Martins³; Leonardo Araujo⁴; Felipe Augusto Moretti Ferreira Pinto⁴; Hércio Costa⁵; José Aires Ventura⁶

Resumo - A busca de novas ferramentas ou práticas de manejo fitossanitário que nos permitir obter alimentos seguros tanto para a saúde humana quanto para o meio ambiente tornou-se uma questão importante para a pesquisa científica e para o consumidor. Embora os biopesticidas sejam uma realidade em franca conquista de mercado, essa ferramenta a médio prazo não irá substituir inteiramente as quantidades de princípios ativos sintéticos produzidos, mas podem contribuir significativamente para minimizar a seleção de organismos resistentes ou problemas de contaminação ambiental. A nanotecnologia, apesar de insipiente no meio agrícola, se mostra como uma importante ferramenta no manejo de pragas a médio longo prazo, seja preservando princípios ativos importantes, seja aumentando a eficiência desses princípios. Entretanto, todos os esforços para integrar essas novas tendências no manejo de fungos, inseto, plantas daninhas e nematoides nas práticas de manejo integrado atuais necessitarão de mudanças conceitual e legislativa. Algumas culturas ou organismos alvos já possuem práticas de manejo mais adequadas à realidade brasileira, seja ela de clima tropical, seja temperado.

Palavras-chaves: Biopesticidas; Nanotecnologia; Manejo integrado.

New Tools for Phytosanitary Management: Challenges and Future Trends

Abstract - The search for new tools or pest management practices that allow us to get safe food for human health and to ensure the conservation of the environment has become an important issue for scientific research and for the consumer. Although biopesticides are a reality in great expansion, this tool in the medium term will not entirely replace the quantities of synthetic active ingredients produced, but may help minimize the selection of resistant organisms or problems of environmental contamination. Nanotechnology, although incipient in the agricultural environment, is an important tool in pest management in the medium term, either preserving important active principles or increasing the efficiency of these principles. Nonetheless, all efforts to integrate these new trends in fungus, insect, weed and nematode management into current integrated management practices will require conceptual and legislative changes. Some crops or target organisms already have management practices that are more appropriate to the Brazilian reality, either in tropical or temperate climate.

Keywords: Biopesticides. Nanotechnology. Integrated Management.

INTRODUÇÃO

Espera-se que a população mundial atinja algo próximo a 9,1 bilhões em 2050. Esse crescimento na população humana exigirá um aumento na

produção de alimentos de até 70% sobre os níveis atuais (UNITED NATIONS, 2017). Com esse cenário, as diferentes cadeias agroprodutivas são constantemente desafiadas a atender à crescente

¹ Engenheiro Agrônomo, D.Sc. Fitopatologia, Pesquisador do Incaper, inorbert@incaper.es.gov.br;

² Engenheiro Agrônomo, D.Sc. Fisiologia Vegetal, Professor UFV, Campus Florestal, Florestal MG

³ Engenheiro Agrônomo, D.Sc. Fitopatologia, Pesquisador Embrapa Agroindústria Tropical

⁴ Engenheiro Agrônomo, D.Sc. Fitopatologia, Pesquisador Epagri

⁵ Engenheiro Agrônomo, D.Sc. Fitopatologia, Pesquisador do Incaper

⁶ Engenheiro Agrônomo, D.Sc. Fitopatologia, Pesquisador do Incaper

demanda global por alimentos, enquanto reduz os impactos negativos nas práticas agrícolas.

Concomitante a esses desafios, um grande número de insetos-praga, patógenos e plantas daninhas, genericamente denominadas pragas, são cada vez mais responsáveis, direta ou indiretamente, por perdas quantitativas e qualitativas na produção agrícola em todo o mundo. Esses fatores de estresse bióticos limitadores de rendimento têm que ser adequadamente manejados, a fim de reduzir o seu impacto negativo na produção de alimentos, ração, fibra, além dos consumidores, trabalhadores rurais e ao meio ambiente.

Esse manejo passa pelo uso eficiente dos conhecimentos atuais e pela adoção de tecnologias mais eficientes e específicas. Este artigo irá demonstrar que o manejo, na maioria dos casos, pode ser realizado por uma combinação de ferramentas mecânicas, biológicas e/ou químicas e outras tecnologias em programas de controle integrado. Essas ferramentas devem, sobretudo, ser adaptadas as diferentes culturas e regiões (tropical, subtropical, áridas e etc).

A disponibilização de novas tecnologias está consideravelmente auxiliando a eficiência e eficácia das ferramentas atuais e ao mesmo tempo trazendo luz a novas possibilidades e tendências de uso do solo e moléculas.

DIAGNÓSTICO FITOSSANITÁRIO

Qualquer gestão e implementação de estratégias de manejo de fitopatógenos necessita, em algum momento, de uma prévia análise laboratorial. As análises laboratoriais na fitossanidade são ferramentas essenciais para a detecção e diagnósticos de patógenos, considerando que o diagnóstico de patógenos de plantas pode ser ainda mais difícil quando presentes em sementes, solos e materiais vegetais infectados e assintomáticos. Portanto, para segurança alimentar, faz-se necessário laboratórios fitossanitários com protocolos integrados de diagnósticos que utilizem métodos modernos e oficiais.

Para alguns grupos de patógenos, como vírus de plantas, quase como consenso, recomenda-se a detecção por métodos moleculares, mas para fungos, bactérias e nematoides muitas vezes essas técnicas não são utilizadas como rotina na maioria dos laboratórios. Detecção rápida e precisa de patógenos fúngicos até o nível de espécie ou mesmo patógenos resistentes a certas moléculas químicas é essencial para a adoção e execução de estratégias apropriadas de manejo e controle da doença. Essa mesma lógica se aplica a nematoide, por exemplo do gênero *Meloidogyne*, quando se procura fazer manejo cultural ou uso de cultivares resistente ou tolerantes.

Os métodos convencionais disponíveis para detecção e identificação dos fungos fitopatogênicos consomem tempo e nem sempre são muito específicos: dependem principalmente de sintomas, isolamento e cultivo seguido por observações morfológicas e testes bioquímicos (PEARSON et al., 1987; TAN et al., 2008). Um diagnóstico rápido do agente causal da doença pode evitar perdas na produção e conseqüentemente econômica.

Indiscutivelmente as técnicas de detecção de fitopatógenos apresentaram grandes avanços nos últimos anos e estão altamente sensíveis, específicas e rápidas, principalmente para a detecção de alguns patógenos fúngicos. Por exemplo, a PCR pode detectar a concentração de 10 pg de DNA do fungo (LIN et al., 2009).

Algumas das importantes técnicas avançadas de detecção de doenças fúngicas e diagnósticas disponíveis são a reação em cadeia da polimerase (PCR), PCR em tempo real (real-time PCR), Nested PCR, transcriptase reversa (RT-PCR) e Loop-mediated isothermal amplification (LAMP). Outras técnicas moleculares de diagnose incluem MCH PCR, PCR-RFLP, in situ PCR, PCR DGGE, multiplex PCR, microarranjo de DNA e etc. (MARTIN; RYGIWICZ, 2005; TOJU et al., 2012).

Como observa-se, níveis elevados de sensibilidade, especificidade e simplicidade fizeram o ensaio baseado em PCR como a técnica de escolha para aplicação de rotina e em larga escala na detecção,

diferenciação e quantificação de patógenos fúngicos em estágios iniciais de infecção. Apesar dos procedimentos de identificação que envolvem ferramentas moleculares terem reduzido o tempo de diagnose, evitando cultivo de cultura, ainda assim todo o processo de análise molecular de genes-alvo permanece demorado e de valor considerado.

Outro ponto que deve ser destacado ao proceder análise de diagnóstico molecular é a escolha do *primer*. Geralmente os laboratórios prestadores de serviços fitopatológico seguem um padrão internacional para escolha de um determinado *primer*, que devem ser únicos para a sequência-alvo a ser amplificada e devem cumprir certos critérios, tais como comprimento do *primer*, conteúdo GC, temperatura de fusão e anelamento, estabilidade na extremidade 5' e especificidade na extremidade 3' (DIEFFENBACH et al., 1993).

Desenvolvimentos tecnológicos recentes no setor agrícola levaram a uma demanda por uma nova era de métodos automatizados, sensíveis e não destrutivos de detecção de doenças de plantas. As mais recentes tecnologias que detêm a chave para detecção de doenças fúngicas e o desenvolvimento de sensores são baseadas em espectroscopia e imagiologia (GRAEFF; LINK; CLAUPEIN, 2006; COSTA et al., 2007; SUMMY; LITTLE, 2008; BÜRLING; HUNSCHE; NOGA, 2011; CROUCH; HOLLER; SKOOG, 2007), metabolito e perfil volátil (IBRAHIM, 2011; LAKSHMI; CHOWDAPPA; MAHMOOD, 2014).

Técnicas de espectroscopia e imagem fornecem uma plataforma, juntamente com outras técnicas, que podem ser usadas para o desenvolvimento de métodos não destrutivos. A espectroscopia é o estudo da interação entre matéria e eletromagnética. O foco atual está em tornar tais tecnologias em ferramentas práticas para um monitoramento de doenças em tempo real, em grande escala e em condições de campo. Cita-se ainda que outras tecnologias nessa linha incluem “nariz eletrônico” (CONCINA et al., 2009; EIFLER et al., 2011) e o sistema PLEX-ID, que utiliza ampla amplificação por PCR acoplada à espectrometria de massas com ionização

por *electrospray* (ESI-MS) para a detecção direta de patógenos sem a necessidade de esperar pelo crescimento em cultura (SIMNER et al., 2013). etc.

BIOPESTICIDAS: FERRAMENTA ESSENCIAL NO CONTROLE FITOSSANITÁRIO

A maioria dos pesticidas agrícolas químicos possuem modo de ação de sítio específico e, considerando o grande custo de investimento para desenvolver um pesticida químico, as empresas desenvolvem um conjunto de estratégias de manejo para retardar a seleção de indivíduos resistentes a nova molécula. Isso inclui misturas de tanque, rotação com outras moléculas químicas ou inserção de forma significativa de biopesticidas nos sistemas de manejos.

O termo biopesticidas foi mencionado e discutido nos últimos cinco a seis décadas. Foi geralmente usado com referência a princípios bioativos de origem vegetal com potencial uso como agentes de controle de pragas. Esses agentes foram considerados relativamente seguros e compatíveis ambientalmente. Durante as últimas três décadas, o termo biopesticidas tem evoluído com a inclusão mais ampla de agentes bioativos produzidos por vírus, bactérias, fungos, plantas e etc. Alguns especialistas incluem bactérias e fungos antagonistas para o controle de doenças de plantas. É uma tendência geral para tornar o termo biopesticidas inclusivo, abrangendo todos os produtos naturais de plantas e entidades vivas.

A maioria dos biopesticidas tem modos complexos de ação – micro-organismos vivos que infectam e matam fungos, insetos e nematoides ou serem compostos por extratos vegetais que contêm misturas de múltiplas classes de compostos químicos, proporcionando maior durabilidade e efetividade do produto comercial. Este modo complexo de ação também pode retardar o desenvolvimento de resistência a pesticidas químicos (ASOLKAR et al., 2013).

Ponto favorável à adoção dessa tecnologia reside no fato de os biopesticidas possuírem maior

eficácia e facilidade na aplicação, serem mais econômicos e terem maior prazo de validade do que os biopesticidas de décadas atrás (GLARE et al., 2012). Com essas qualidades, os biopesticidas deixaram de ser produtos para nichos, e em 2013, a agência Lux Research estimou que essa categoria de pesticidas iria faturar 4,5 bilhões de dólares em 2023. No entanto, o mercado de biológicos agrícolas foi avaliado em US \$ 6,75 bilhões em 2017 e deverá crescer a uma taxa de 13,8% e alcançar US \$ 14,65 bilhões até 2023 (BUSINESS WIRE, 2018).

Além da aceitação dos consumidores e produtores, outro ponto favorável está ligado aos custos de desenvolvimento de um produto comercial. Um novo pesticida sintético geralmente requer US\$ 250 milhões e nove anos do desenvolvimento para a aprovação regulatória. Por outro lado, um biopesticida precisa de menos de US\$ 10 milhões e quatro anos para o mesmo processo. Como um processo de desenvolvimento mais barato e mais rápido, a pesquisa e desenvolvimento de biopesticidas é mais atraente para *startups* e pequenas empresas com orçamentos de pesquisa limitados, que depois repassam a tecnologia às multinacionais.

Pesquisas demonstram que os biopesticidas atuais têm uma eficiência no controle tão quanto ou melhor do que pesticidas químicos convencionais (BRAVERMAN, 2013; MARRONE, 2014; OLSON, 2013) e quando utilizado em mistura de tanque, pode aumentar a produtividade e qualidade das colheitas (SU et al., 2012).

Produtos para o manejo de pragas de base biológica podem afetar a fisiologia e morfologia da planta de maneira que podem melhorar o rendimento das culturas e aumentar a eficácia através da ação sinérgica com pesticidas químicos convencionais (BERENBAUM; ZANGERL, 1996; SCOTT et al., 2003). Além disso, existem poucos relatos de casos em que as pragas desenvolveram resistência aos produtos de manejo biológico de pragas (GILL; COWLES; PIETRANTONIO, 1992).

Em essência, os biopesticidas são uma solução inovadora e segura para proteção e manejo de

cultivos. O mercado global de biopesticidas está se expandindo rapidamente em resposta a uma demanda por produtos mais ecologicamente corretos. E existem biopesticidas no mercado para o manejo de uma vasta gama de importantes pragas e doenças agrícolas.

AGRONANOTECNOLOGIA: FERRAMENTA PARA O FUTURO

A nanotecnologia representa uma nova fronteira na agricultura moderna. É um campo interdisciplinar que se refere à engenharia e reestruturação de sistemas funcionais na escala nanométrica (10^{-9} m) e tem, além das áreas da medicina, alimentos, farmacologia, uma potencialidade para mudanças drásticas na agricultura o que conseqüentemente implicará em mudanças econômicas, ecológicas e social (ISSA et al., 2013; PRASAD, 2017).

A nanotecnologia avançou rapidamente nos últimos 10 anos e numerosos nanomateriais, com uma variedade de aplicações potenciais, foram desenvolvidos, bem como novos produtos nanoengenhadados com propriedades pesticidas, que têm se mostrado promissores como ferramentas para agricultura orgânica e agricultura de baixo impacto ou alternativas produção (OECD, 2013; KAH; HOFMANN, 2014).

Versões projetadas de pesticidas agrícolas convencionais, reguladores de crescimento e agentes de tratamento de sementes estão entre os primeiros nano-químicos que poderiam ser usados na agricultura (OECD, 2013). O uso de nanopartículas tornará os pesticidas agrícolas mais eficazes. A redução das partículas à nanoescala acarreta no aumento da área superficial e mudanças fundamentais nas propriedades físico-químicas dos nanopesticidas (SEKHON, 2014; KHAN; RIZVI, 2014). Em comparação com partículas maiores da mesma substância química, as nanopartículas são mais reativas, mais biologicamente ativas e têm uma ação mais catalítica (MUKHOPADHYAY, 2014; NAVYA; DAIMA, 2016; SOPEÑA et al., 2005).

A descoberta de nanoinseticidas traz novas alternativas para expandir o espectro de aplicações de pós inorgânicos, por exemplo, o óxido de alumínio nanoengenhado, como alumina nanoestruturada, que demonstrou ter propriedades inseticidas, baixa toxicidade não-alvo, não-reatividade, baixo custo e probabilidades reduzidas de gerar resistência em insetos (BUTELER et al., 2015; STADLER et al., 2017). Já as nanopartículas de prata apresentam múltiplos modos de ação inibitória contra micro-organismos com relativa segurança para o controle de vários patógenos de plantas, em comparação com fungicidas sintéticos (KIM et al., 2012) e possibilita melhores estratégias de tratamento com foco no controle e na produtividade (CURSINO et al., 2009). Muitas pesquisas têm utilizado nanopartículas de prata como antifúngicos para controle de *Fusarium oxysporum*, *Curvularia lunata*, *Rhizopus arrhizus*, *Aspergillus niger* e *Aspergillus flavus* (SAVITHRAMMA et al., 2011).

As extraordinárias propriedades antimicrobianas e fotocatalíticas do TiO_2 são úteis no controle e supressão das doenças das plantas (CUI et al., 2009; SERVIN et al., 2015). Por exemplo, foi observada na presença de TiO_2 uma redução na infecção de 91% e 69% de *Psilocybe cubensis* e *Pseudomonas syringae* pv. *Lachrymans*, respectivamente, em pepino (CUI et al., 2009). A aplicação foliar de nanopartículas baseadas em metal e carbono inibiu significativamente o crescimento de hifas de *Botrytis cinerea* em pétalas de rosa (HAO et al., 2017). Anteriormente, FENG et al. (2016) relataram que nanopartículas de Au revestidas com N-heterocíclico exibiram fortes propriedades antibacterianas contra bactérias gram-positivas, incluindo cepas resistentes a múltiplos fármacos.

A aplicação foliar de agroquímicos é comum na agricultura. Além da supressão de doenças, certos nano-materiais podem fornecer nutrientes essenciais às plantas como fertilizantes em nanoescala para aumentar o crescimento das plantas. Elmer e White (2016) relataram que a aplicação de nanopartículas de óxido metálico

(CuO, MnO e ZnO) via spray foliar reduziu em aproximadamente 30% a doença em tomates em comparação com o tratamento isolado de fungos; adicionalmente, os rendimentos dos tomates tratados com nanopartículas foram 30% maiores do que os controles não alterados. Esse efeito sinérgico é observado em outras culturas: a atividade fotossintética do pepino foi aumentada em 30% devido a nanopartículas de TiO_2 . A solução de nanopartículas de TiO_2 também apresentou impacto positivo na germinação de sementes de espinafre (ZHENG et al., 2005).

Além das propriedades terapêuticas no controle de patógenos, as nanopartículas de TiO_2 apresentaram efeitos no vigor das plantas. Por exemplo, o rutilo e a anatase (formas minerais de TiO_2) aumentaram a formação de clorofila na planta de espinafre em 28 e 19%, respectivamente (ZHENG et al., 2005; LINGLAN et al., 2008). Além disso, o rutilo de TiO_2 melhorou o crescimento de espinafre em 63-76%, enquanto o anatase TiO_2 aumentou a massa seca e fresca de espinafre em 69,8 e 58,2% respectivamente.

Apesar dos potenciais benefícios da nanotecnologia na agricultura até agora, sua aplicabilidade está incipiente e não alcançou a realidade de campo. Como observado, a agronotecnologia tem um grande potencial para lidar com os desafios globais de produção/segurança de alimentos, sustentabilidade e até mudança climática. No entanto, observa-se que existe muita insegurança sobre o destino, o transporte, a biodisponibilidade e a toxicidade das nanopartículas. Esta insegurança está embasada no restrito conhecimento acumulado sobre os fatores de avaliação de risco, ou seja, a toxicidade das nanopartículas em relação aos componentes do agroecossistema (planta, solo, comportamento da microbiologia do solo após sua liberação da nanopartícula no ambiente). Junta-se a essa insegurança a necessidade da readequação da legislação para a adoção das nanotecnologias no setor agrícola.

TENDÊNCIA NO MANEJO DE FITONEMATOIDES

Apesar de imperceptíveis aos olhos do produtor, os nematoides são considerados um dos principais problemas para o bom desempenho da atividade agrícola mundial, ocasionando prejuízos da ordem de R\$ 35 bilhões/ano no Brasil (SBN, 2016).

O desenvolvimento de formas de controles dos nematoides parasitas de plantas sempre foi um desafio e é o que vem, quando comparado aos demais agentes etiológicos, apresentando mudanças significativas nas ferramentas utilizadas ou na aplicabilidade, haja vista a mudança radical nas ferramentas de manejo adotadas, ou seja, químico para o biológico.

O controle químico teve início no século passado e se manteve como a principal ferramenta até anos recentes. Mas sempre foi considerado pouco eficiente, pois a maioria dos fitonematoides passam seu ciclo de vida confinados a dois ambientes extremamente complexos, solo e interior das raízes das plantas e, portanto, a entrega de um composto químico e sua efetiva ação nesses ambientes e imediata absorção pelo nematoide é difícil (FERRAZ et al., 2010). Além do mais, a superfície externa dos nematoides é um alvo bioquímico pobre e é impermeável a muitas moléculas orgânicas, e a absorção de um composto tóxico por via oral é quase impossível, uma vez que a maioria das espécies de nematoides fitoparasitas ingerem material apenas quando se alimentam de raízes de plantas.

Para maior eficácia, os nematicidas químicos eram compostos por substâncias tóxicas de amplo espectro, possuindo alta volatilidade ou outras propriedades que facilitavam a migração no perfil do solo. Essas características traziam consigo alto risco à saúde e ao ambiente, o que conseqüentemente resultou no banimento generalizado de várias moléculas agronomicamente importantes em vários países do mundo. Inicialmente foram os fumigantes (ex.: dicloropropano + dicloropropeno, etileno dibrometo e brometo de metila) e, nas décadas mais recentes, os nematicidas do grupo químico dos

organofosforado e carbamato enfrentam restrições severas e proibição (CHITWOOD, 2002). No Brasil, os nematicidas registrados, com certas restrições, para uso possuem basicamente dois ingredientes ativos: cadusafós (Organofosforado) ou abamectina (Avermectina) (MAPA, 2018).

Ao contrário dos nematicidas fumigantes, o modo de ação dos nematicidas organofosforado e dos carbamato são razoavelmente conhecidos. É aceito que esses compostos atuem principalmente pela inibição da acetilcolinesterase nas sinapses colinérgicas no sistema nervoso dos nematoides (EVANS, 1973; NELMES et al., 1973; LE PATOUREL; WRIGHT, 1974), que é o mesmo modo de ação como nos vertebrados e artrópodes (CORBETT, 1974). Essa ação não mata os nematoides, pois eles não dependem de movimentos respiratórios para troca gasosa e muitas espécies são capazes de resistir a longos períodos de inanição ou condições desfavoráveis (EVANS; PERRY, 1976); eventualmente, entretanto, os nematoides afetados no solo consomem suas reservas energéticas, e perdem sua infectividade e morrem (HAGUE, 1979).

Pode-se afirmar que estamos na era da substituição das ferramentas e formas de manejo dos nematoides, pois a cada ano a cadeia produtiva se depara com o cenário de restrição de uso e/ou retirada do mercado de produtos compostos por moléculas químicas, como, por exemplo, a retirada, em 2017, do carbofurano e, por outro lado, a inserção massiva de produtos à base de organismos vivos para o controle de nematoides (Tabela 1).

Devido à diversidade de agentes de controle e diferentes modo de ação sobre os nematoides, essa é tendência do manejo integrado dos nematoides, ou seja, uso de bionematicidas. Os fungos e as bactérias (principalmente do gênero *Bacillus*) (Tabela 1) selecionados para controle biológico de nematoides são caracterizados por diferentes modos de ação: antibiose, predação, indução de tolerância da planta hospedeira, produção de enzimas e toxinas, colonização sistêmica da rizosfera da planta hospedeira, competição por nutrientes e sítios de colonização e liberação de

Tabela 1. Produtos comerciais e agentes de controle biológico (ACB) registrado no Brasil para controle de nematoide

| Marca comercial | ACB | Grupo* | Formulação | Registro | Concentração. |
|-----------------|--|--------|------------|----------|---------------------------|
| Nemat | <i>Paecilomyces lilacinus</i> | F | WP | 5713 | 7,5x10 ⁹ UFC/g |
| Rizotec | <i>Pochonia chlamydospora</i> | F | WP | 5816 | 280 g/kg |
| Clariva PN | <i>Pasteuria nishizawae</i> | F | WS | 16917 | 156 g/L |
| Rizos | <i>B. subtilis linhagem</i> QST 713 | B | SC | 15116 | 1,5% |
| Onix | <i>B. methylotrophicus</i> | B | SC | 13018 | 1.5 10 ⁹ UFC/L |
| Quartzo | <i>B. subtilis</i> + <i>B. licheniformis</i> | B | WS | 317 | 1x10 ¹¹ UFC/g |
| Presence | <i>B. subtilis</i> + <i>B. licheniformis</i> | B | WS | 1817 | 1x10 ¹¹ UFC/g |
| Nemacontrol | <i>B.amyloliquefaciens</i> | B | SC | 12016 | 30g/L |
| Oleaje | <i>B.firmus</i> | B | SC | 2317 | 247.3 g/L |
| Andril | <i>B. firmus</i> | B | SC | 2417 | 247.3 g/L |
| Votivo | <i>B. firmus cepa</i> I-1582 | B | SC | 22816 | 247.3 g/L |
| Oleaje Prime | <i>B.firmus cepa</i> I-1582 | B | SC | 32817 | 240 g/L |
| Andril Prime | <i>B.firmus</i> | B | SC | 32917 | 240 g/L |
| Votivo Prime | <i>B.firmus cepa</i> I-1582 | B | SC | 32717 | 240 g/L |

*Grupo Fungo (F) e Bactéria (B)

enzimas hidrolíticas que atuam na degradação da parede celular dos nematoides e dos ovos (CAWOY et al., 2011).

Esses modos de ação aliados às novas formulações com maior tempo de armazenamento e facilidade de aplicação e compatibilidade com outros pesticidas vêm possibilitando ao produtor a adoção do controle biológico e tornando essa opção de controle uma prática viável, eficiente tanto quanto o químico e até melhor, uma vez que tem um período de ação maior e é mais sustentável à biologia do solo. Além disso, o uso de bionematicidas pode ser, em certas culturas ou particularidade do terreno, a única opção de manejo, por exemplo em cafeeiro arábica cultivado nas montanhas capixaba, onde, devido à declividade e ausência de equipamento específicos, o uso de nematicida químico registrado é impossibilitado.

A sustentabilidade do solo é proporcionada pela preservação, manipulação do ambiente e introdução massal de diferentes antagonistas. É por isso que, dentre os agentes de controle biológico empregados no manejo de nematoides, as rizobactérias *Bacillus subtilis* e *B. licheniformis* merecem uma atenção

especial, uma vez que essas espécies possuem, além da ação nematicida, grande afinidade com exsudados radiculares de diferentes espécies vegetais; não são dependentes de uma fase saprofítica, possuem estrutura de resistência (endósporo) para sobrevivência em período de estresse e, portanto, também podem ser empregadas na entressafra (CAWOY et al., 2011).

Salienta-se que a utilização de organismos antagonistas ou bionematicidas deve ser combinada com outros métodos de controle (rotação de cultura, uso de planta armadilhas, variedades resistentes e extratos vegetais), dentro do contexto do manejo integrado de nematoides. Assim será possível afetar mais de um estágio do ciclo de vida do nematoide alvo.

Sendo assim, o controle biológico de nematoide na agricultura brasileira se destaca como uma alternativa de controle eficiente: viável e com menor custo; de fácil aplicação, podendo aproveitar inclusive o sistema de irrigação para distribuição homogênea ou localizada do produto na área, tornando a aplicação mais eficaz; não causa danos ao meio ambiente e

à saúde humana; não deixa resíduo na colheita e, principalmente, não permite o surgimento de formas resistentes de nematoides.

PLANTAS DANINHAS E AS NOVAS TENDÊNCIA NO MANEJO

Igualmente importante aos manejos de pragas, doenças e nematoides para assegurar a produtividade das culturas agrícolas é o manejo de plantas daninhas. Essas plantas são assim denominadas por infestarem naturalmente os ambientes agrícolas e comprometerem direta ou indiretamente a produtividade das culturas, a qualidade dos produtos colhidos, ou ainda a realização de práticas como adubação e colheita, dentre outras (SILVA et al., 2007). Os maiores prejuízos decorrem da competição que elas exercem sobre as plantas cultivadas por recursos essenciais ao crescimento, como água, luz e nutrientes.

Em virtude desses aspectos negativos, faz-se necessário o manejo adequado das plantas daninhas. Logo, há um custo associado que é somado aos demais custos de produção das culturas. É importante ressaltar que em muitas ocasiões, sobretudo nas áreas em que a mecanização está presente, o custo com o controle de plantas daninhas é relativamente baixo se comparado a outros custos operacionais, mas a sua não realização pode impactar fortemente a produtividade, reduzindo o lucro do produtor (RONCHI; SILVA, 2018). Por isso, o manejo de plantas daninhas deve ser muito bem planejado.

Analisando-se, de forma geral, a conjuntura atual do manejo de plantas daninhas nas culturas agrícolas percebe-se que muitos foram os avanços obtidos nos sistemas de manejo nas últimas décadas. Nesse sentido, algumas tendências nas práticas de manejo têm surgido e se consolidado, e outras ainda são incipientes, mas promissoras. Todavia, igualmente elevados são os novos desafios que essa ciência (a Ciência das Plantas Daninhas) enfrenta na atualidade.

Numa agricultura moderna, conservacionista, que visa à produção sustentável de alimentos, a adoção de práticas integradas de manejo é a chave para

a redução da competição das plantas daninhas, do custo de controle, dos riscos de contaminação da cultura e do ambiente, e dos casos de plantas daninhas resistentes, enquanto potencializa os efeitos benéficos das espécies sobre a conservação do solo e produção ao longo dos anos (BAJWA, 2014). Dessa forma, o manejo integrado de plantas daninhas nos sistemas agrícolas, que considera as características ecológicas das plantas daninhas e que integra de forma inteligente as práticas culturais, preventivas, mecânicas, químicas e biológicas para coletivamente minimizar a competição das plantas daninhas, passou a substituir a simplificação antes adotada, o controle *per se*.

Por exemplo, em culturas perenes, o manejo de plantas daninhas tem sido otimizado de forma a potencializar os efeitos benéficos da vegetação nas entrelinhas de cultivo (proteção do solo contra o impacto da chuva e do aquecimento excessivo, reciclagem de nutrientes, incremento de matéria orgânica, manutenção da umidade), desde que a linha de plantio seja devidamente mantida livre de competição. Manejo em linhas alternadas contribuem para preservação de inimigos naturais e tem sido requerida nos processos diversos de certificação ambiental. Espécies de plantas de cobertura têm sido introduzidas com sucesso nas entrelinhas de cultivo, com destaque para as leguminosas, mas principalmente para aquelas do gênero atualmente chamado de *Urochloa* (antes *Brachiaria*). No século passado, era difícil conciliar a ideia de semear braquiária nas entrelinhas da cultura. Atualmente, com a evolução do manejo, pode-se dizer que a introdução e manejo rigoroso dessas gramíneas nas lavouras não é uma tendência é uma realidade (RONCHI; SILVA, 2018).

O controle biológico de plantas daninhas, particularmente o uso de bioherbicidas, diferentemente dos avanços significativos obtidos no manejo biológico de pragas e nematoides, ainda não é uma realidade no Brasil, apesar de existirem pesquisas mostrando o potencial de vários organismos (plantas, animais, fungos, bactérias e

insetos) para a fabricação de bioherbicidas (GALON et al., 2016). Seu uso é restrito a algumas situações. Vale a pena registrar que o uso de plantas com características alelopáticas, sejam aquelas para uso em rotação de culturas, sejam em consórcio, tem ganhado maior importância como ferramenta de manejo integrado de plantas daninhas. Com os aleloquímicos liberados no ambiente por essas plantas, seja durante seu ciclo de vida, seja após manejadas, tem-se conseguido reduzir o banco de propágulos (sementes e estruturas vegetativas) do solo, minimizando a competição das plantas daninhas com as culturas cultivadas. Um exemplo de sucesso é o manejo eficiente de plantas daninhas de propagação vegetativa, como a tiririca (*Cyperus rotundus*), que tem sido obtido em programas de manejo integrado que levam em consideração o uso de plantas de cobertura de alto potencial alelopático. Essa característica, associada ao não revolvimento do solo, à adição de palhada e ao uso de herbicidas de ação sistêmica compõem uma excelente estratégia de manejo integrado.

Reduções no custo de controle, menor intoxicação do ambiente e das culturas e maior eficácia de controle e minimização da competição com as culturas têm sido conseguidas pelos grandes avanços na pesquisa sobre o comportamento de herbicidas no solo. A compreensão das interações da molécula com o solo, em cada talhão, tem permitido ajustes nas doses aplicadas, ou seja, aplicações em taxas variadas em vez de aplicações com doses médias. Apesar de incipientes, há uma tendência no desenvolvimento dessa linha para otimização do controle químico de plantas daninhas.

Por falar em controle químico de plantas daninhas, esse sim passa por um momento de transformação e de desafios. O foco na busca de soluções para o manejo químico de plantas daninhas nas culturas agrícolas, sobretudo naquelas de maior importância econômica no mercado mundial, parece ter sido alterado nas duas últimas décadas para o desenvolvimento (pela transgenia) de plantas resistentes a um pequeno grupo de herbicidas em vez de buscar identificar

novas moléculas, novos grupos químicos ou novos mecanismos de ação de herbicidas. A transgenia está focada em poucos herbicidas, como glyphosate, glufosinato de amônia e dicamba. Neste século, poucas moléculas herbicidas foram descobertas e nenhum novo mecanismo de ação de herbicida foi lançado no mercado; pelo contrário, herbicidas tiveram seu uso restrito ou banido.

Ao passo que esse caminho (o da transgenia) levou no curto prazo à simplificação do manejo de plantas daninhas nas culturas, igualmente potencializou outro grande problema já existente na agricultura: o surgimento (ou seleção) de novos biótipos de plantas daninhas resistentes, como Buva (*Conyza* spp.), capim-amargoso (*Digitaria insularis*), erva-quente (*Spermacoce latifolia*) e caruru (*Amaranthus palmeri*). Obviamente, sabe-se que o herbicida não causa resistência, apenas seleciona aqueles biótipos resistentes. De qualquer forma, a resistência decorrente do uso inadequado dos herbicidas e da sua aplicação repetidas vezes na mesma área ao longo de um ano agrícola indica claramente que nenhuma prática de manejo deve ser adotada isoladamente, reforçando a ideia consagrada, em nível mundial, do manejo integrado de plantas daninhas.

O uso de tecnologias modernas promete avanços consideráveis no manejo de plantas daninhas. Atualmente, drones e equipamentos que aplicam em baixo volume, sensores a laser acoplados nas barras para pulverização, aplicações somente nas plantas daninhas remanescentes num talhão (eliminando a aplicação em área total), e aplicativos que contribuem com os técnicos para identificação de plantas daninhas e recomendações precisas de herbicidas e doses merecem destaque na agricultura moderna, pois representam uma tendência para redução dos custos de produção e aumento de produtividade agrícola.

Inegavelmente, as projeções dos organismos internacionais apontam para um crescimento da população mundial nas próximas décadas e conseqüentemente para uma demanda na oferta de alimentos. Mesmo considerando que a adoção das tecnologias empregadas na agricultura nas últimas

décadas, dentre elas o controle químico de plantas daninhas e o manejo fitossanitário nas culturas, os fertilizantes minerais, os cultivares melhorados etc. permitiram um incremento significativo da produção pelo aumento da produtividade e não da área cultivada. A oferta de alimentos para atender ao incremento da população requererá a inserção de aproximadamente 200 milhões de hectares de área cultivada (USDA, 2018), isso demandará uma evolução ainda maior na eficiência dos métodos de controle de plantas daninhas para explorar racionalmente essas novas áreas. Logo, muitos outros avanços certamente ocorrerão nessa área do conhecimento para assegurar a produção sustentável de alimentos em nível mundial.

PRÁTICAS E TENDÊNCIAS TECNOLÓGICAS NO MANEJO FITOSSANITÁRIO DE CULTIVOS AGRÍCOLAS DE CLIMA TROPICAL

O Brasil é considerado um dos maiores produtores mundiais de frutas para abastecimento do mercado interno e para a exportação. De Norte a Sul do país, a fruticultura se mostra com uma alternativa agrícola na produção de frutas tropicais e temperadas de excelente qualidade. De toda sorte, as tecnologias geradas para a produção de frutas têm almejado não só a produtividade dos pomares, mas uma produção que visa a responsabilidades sociais, econômicas e ambientais (JESCHKE, 2016; LEADBEATER, 2015).

Na fruticultura tropical, três pontos merecem destaque: o primeiro deles é as tecnologias de aplicação dos fungicidas, que é uma componente chave na eficiência do controle. Por exemplo, a pulverização eletrostática tem proporcionado excelente efeito na deposição da calda de pulverização no dossel das plantas (SASAKI et al., 2015; 2013). Nas pulverizações deve-se considerar a penetração da calda no interior da copa da planta para atingir os dois lados da folha, uma vez que nessa região o desenvolvimento de doenças pode ocorrer com maior intensidade.

O segundo ponto é a exploração das características sobre os fungicidas é o seu efeito fisiológico sobre a planta frutíferas tropicais. De acordo com Lima

et al. (2012), as estrobilurinas, azoxistrobina e piraclostrobina promoveram o crescimento das mudas de bananeira em altura e em diâmetro do pseudocaule, além de maior acúmulo de matéria seca da parte aérea. Ainda segundo estes autores, a piraclostrobina também promoveu incremento na área foliar, na atividade do nitrato redutase *in vivo* e no teor de clorofila e de nitrogênio foliar total. Em mudas de videira, Marek (2016) verificou ganhos significativos no desenvolvimento vegetativo com aplicação de fungicidas do grupo das estrobilurina e boscalidas. MACEDO et al., (2017) também relataram influência de fungicidas do grupo das estrobilurinas no incremento de atributos fisiológico de melão rendilhado, inclusive em massa e maior teor de sólidos solúveis totais.

O terceiro ponto é a extensão de uso dos pesticidas agrícolas, que deve ser destacada. A Instrução Normativa Conjunta nº1 de 23/02/2010, considerada como *Minor Crops*, oficialmente conhecida como Culturas com Suporte Fitossanitário Insuficiente (CSFI), revogada pela Instrução Normativa Conjunta nº1 de 16/06/2014, que permite que os mesmos princípios ativos sejam permitidos para o uso em culturas que sejam relacionadas (MAPA, 2015). Dentro do sistema de produção de frutíferas esta questão deve ser considerada quando na escolha de um princípio ativo não registrado para o patossistema.

TENDÊNCIAS E INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS NO MANEJO FITOSSANITÁRIO DE CULTIVOS AGRÍCOLAS DE CLIMA TEMPERADOS

Apesar das ferramentas modernas, atualmente a pulverização de fungicidas tradicionais ainda se constitui na principal medida de controle das doenças das fruteiras de clima temperado (ARAUJO et al., 2016). Muitos fruticultores utilizam, de forma constante, os fungicidas sítio-específico (são ativos contra um único ponto da via metabólica de um patógeno ou contra uma única enzima ou proteína necessária para o fungo) para tentar se proteger contra epidemias, devido à sistematicidade e ao efeito curativo destes produtos (ARAUJO et al., 2016). No entanto, estas constantes

aplicações de fungicidas sítio-específico no Brasil ao longo dos anos têm levado a perdas de eficiência no controle de doenças das fruteiras de clima temperado, devido à seleção de populações resistentes de fitopatógenos para alguns grupos químicos (BONETTI et al., 2006; ARAUJO et al., 2016). Os benzimidazóis e as estrobilurinas não são mais usados para o controle da sarna da macieira, devido à resistência de *Venturia inaequalis* a estes grupos químicos, enquanto os fungicidas inibidores de biossíntese de ergosterol (IBEs) e dodine apresentam baixo nível de controle (BRANCO et al., 2018; MEDEIROS et al., 2018). Pesquisas recentes demonstram a perda de eficiência de fungicidas dos grupos benzimidazóis, ditiocarbamato e estrobilurinas para algumas populações de *Colletotrichum* spp., que causam a Mancha Foliar de Glomerella (ARAUJO; PINTO, 2017; LIMA et al., 2018). Diante deste cenário de possível falha dos fungicidas para o controle das doenças das fruteiras de clima temperado, aliado à crescente demanda da sociedade por alimentos mais seguros, faz-se necessário a busca por novas alternativas de manejo.

A Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina – (Epagri), em parceria com instituições públicas e privadas, mantém 34 estações meteorológicas que transmitem dados climáticos (molhamento foliar e temperatura) em tempo real, a partir dos quais são submetidos a equações matemáticas que consideram a biologia dos patógenos, indicando os períodos de maior risco de infecção dos fungos. Desta forma, o fruticultor consegue verificar, em tempo real, via internet ou rede móvel (<http://ciram.epagri.sc.gov.br/Fito> ou <http://ciram.epagri.sc.gov.br/agroconnect/>) se ocorrerão períodos chuvosos favoráveis à infecção fúngica variando de grau leve, moderado e severo, e a data provável para o aparecimento dos sintomas (ARAUJO et al., 2016; ARAUJO; PINTO, 2018).

Para complementar as informações do sistema agroalerta, a Epagri também emite avisos fitossanitários, sendo alertas escritos enviados aos produtores e responsáveis técnicos. Nestes avisos, são adicionadas informações sobre a necessidade

de novos tratamentos fitossanitários nos pomares em casos de lavagem dos fungicidas devido à ocorrência de altas precipitações, número de ascósporos liberados em cada período chuvoso de patógenos como *V. inaequalis* e *Neonectria ditissima*, estágio fenológico das plantas e outras informações relacionadas ao manejo das doenças. Atualmente estima-se que este sistema de avisos e alertas tem proporcionado uma redução de 10 a 20% do número de aplicações de agroquímicos nos pomares do Estado de Santa Catarina (ARAUJO et al., 2016; ARAUJO; PINTO, 2018).

Outras ferramentas que se enquadram no Sistema de Produção Integrada e vêm sendo empregadas em fruteiras de clima temperado são o controle biológico, os bioestimulantes e os indutores de resistência (ARAUJO et al., 2016). Produtos à base de *Bacillus* sp. vêm sendo constantemente utilizados no período de floração e pré-colheita para reduzir os níveis de podridões de frutos no período de pós-colheita (VALDEBENITO-SANHUEZA et al., 2016). *Bacillus* sp. podem atuar de diferentes maneiras sobre fitopatógenos, tais como: antibiose, competição por nichos e nutrientes e ativação do sistema de defesa das plantas (VALDEBENITO-SANHUEZA et al., 2016).

Em fruteiras de clima temperado tem sido frequente a utilização de aminoácidos para proteção das gemas e frutos contra os efeitos adversos das geadas, bem como para melhorar a eficiência de fungicidas sítio-específicos no controle de doenças (BRANCO et al., 2018; MEDEIROS et al., 2018). Em fruteiras de clima temperado, os fosfitos são os produtos mais utilizados como indutores de resistência para o controle de diferentes doenças, devido à facilidade de mistura com fungicidas e bom custo benefício (STADNIK et al., 2009; ARAUJO et al., 2010; 2016; FELIPINI et al., 2016). Embora, atualmente na legislação brasileira os fosfitos (H_3PO_3) sejam registrados como fertilizantes foliares, sabe-se que o P na forma de fosfito não é metabolizado pelas plantas como nutriente (STADNIK et al., 2009; ARAUJO et al., 2010).

Algumas tendências já utilizadas em outros países deverão entrar na fruticultura em clima temperado

nos próximos anos, como o uso de variedades de videira PIWI (Pilzwiderstandsfähige) resistentes a míldio e oídio para a produção de vinhos finos de altitude na região de São Joaquim-SC (BONIN et al., 2017); redução do volume de calda utilizado nas pulverizações, modernização dos equipamentos e bicos (ARAUJO; PINTO, 2017).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os setores agrícolas mundiais enfrentam muitos obstáculos e muitos produtores, por razões financeiras, ainda contam com o uso de pesticidas convencionais para proteger suas lavouras. Contudo, devido aos seus efeitos negativos ou de mal-uso, o emprego de certos princípios ativos convencionais ou tradicionais estão estritamente regulados ou limitados. Nesse sentido, o uso de alternativas como biopesticidas ou nanotecnologia pode proporcionar benefícios e três argumentos importantes apoiam o uso dessas novas tecnologias: segurança ambiental, baixo ou nenhuma toxicidade para vertebrados e prevenção do desenvolvimento de resistência. No entanto, apesar desses ativos, vários fatores limitantes estão associados à adoção dessas novas ferramentas e impedem seu uso mais amplo ou restringem suas aplicações. No caso dos biopesticidas é o restrito grupo de organismos utilizados como ACB ou grupo de pragas que são infectados por esses organismos. No caso da nanotecnologia é o desconhecimento das consequências do uso a longo prazo.

Para os agricultores, a boa relação entre custo-benefício de uma nova ferramenta que garanta a produção é apenas parte da equação. O rendimento do produtor é também determinado pela qualidade e rendimento da colheita. Portanto, a adoção da nova tecnologia não pode ser restritiva à comercialização do produto produzido.

REFERÊNCIAS

- ADLER, T. et al. Nanostructured alumina: Biocidal properties and mechanism of action of a novel insecticide powder. **Bulletin of Insectology**, v. 70, n. 1, p. 17-25, 2017.
- AGRIOS, G.N. **Plant Pathology**. 5. ed. San Diego CA. Academic San Diego CA. Academic Press. 2005.
- AGROFIT. Disponível em: <http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons> Acesso em: 26 jun 18.
- ARAUJO, L. et al. Doenças da macieira e da pereira. **Informe Agropecuário**. v. 37, p. 61-74, 2016.
- ARAUJO, L.; PINTO, F. A. M. F. Agroalertas - Sistema informatizado de avisos para controle de doenças da macieira em SC. **Jornal da Fruta**. Lages, v. 328, p. 20-20, 2018.
- ARAUJO, L.; PINTO, F. A. M. F. Possíveis explicações para o difícil manejo da mancha da Gala (mancha foliar de *Glomerella*) nos últimos anos. **Jornal da Fruta**. Lages, v. 322, p. 4-4, 2017.
- ARAUJO, L.; VALDEBENITO-SANHUEZA, R.M.; STADNIK, M.J. Avaliação de formulações de fosfito de potássio sobre *Colletotrichum gloeosporioides in vitro* e no controle pós-infeccional da mancha foliar de *Glomerella* em macieira. **Tropical Plant Pathology**, v.35, p. 54-59, 2010.
- ASOLKAR, R. et al. Discovery and development of natural products for pest management. In: **Pest management with natural products**. In: BECK, J. J., COATS, J. R., DUKE, S. O., KOIVUNEN, M. E.(Eds.). ACS Symposium Series 1141; American Chemical Society: Washington, DC, 2013; Chapter 3, p 17-30
- BAJWA, A. A. Sustainable weed management in conservation agriculture. **Crop Protection**, v. 65, p. 105-113, 2014.
- BERENBAUM, M. R.; ZANGERL, A. R. Phytochemical diversity. In: **Phytochemical diversity and redundancy in ecological interactions**. Springer, Boston, MA, 1996. p. 1-24.
- BONETI, J.I.S.; KATSURAYAMA, Y.; BLEICHER, J. Doenças da macieira. In: EPAGRI. **A cultura da macieira**. Florianópolis: Epagri, 2006, cap.16, p.527-608.
- BONIN, Bruno et al. Intensity of Anthracnose in resistant varieties (PIWI) in the high altitude regions of southern Brazil. In: **BIO Web of Conferences**. EDP Sciences, 2017. p. 01017.
- BRANCO, M. S.C.; ARAUJO, L.; PINTO, F. A. M. F. Análise comparativa dos fungicidas difenoconazol e pirimetanil para o controle da sarna da macieira. In: SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE FRUTICULTURA DE CLIMA TEMPERADO, 13. 2018, São Joaquim. **Resumos...** Florianópolis: Epagri, 2018. p. 92
- BRAVERMAN, M. **Why Use Biopesticides in an IPM Program**. Disponível em: < http://www.ipmcenters.org/ipmsymposiumv/sessions/51_Braverman.pdf. > Acesso em: jun 2018.
- BÜRLING, K. et al. UV-induced fluorescence spectra and lifetime determination for detection of leaf rust (*Puccinia triticina*) in susceptible and resistant wheat (*Triticum aestivum*) cultivars. **Functional Plant Biology**, v. 38, n. 4, p. 337-345, 2011.
- BUSINESS WIRE, **Top Trends in the Agricultural Biologicals Market Industry Biopesticides (Biofungicides, Bioinsecticides, Bionematicides), Biostimulants, Biofertilizers, Agricultural**

Inoculants, and Biological Seed Treatment - Global Forecast to 2023. 2018. Disponível em: < <https://www.businesswire.com/news/home/20180411005934/en/Top-Trends-Agricultural-Biologicals-Market-2018-2023-Biopesticides>> Acesso em: jun 2018.

BUTELER, M. et al. Development of nanoalumina dust as insecticide against *Sitophilus oryzae* and *Rhizopertha dominica*. **International journal of pest management**, v. 61, n. 1, p. 80-89, 2015.

CAWOY, H. et al. Bacillus-based biological control of plant diseases. In: **Pesticides in the modern world-pesticides use and management**. InTech, Rijeka, pp 273-3022011.

CHITWOOD, D.J. Phytochemical based strategies for nematode control. **Annual review of phytopathology**, v. 40, n. 1, p. 221-249, 2002.

CONCINA I. et al. Early detection of microbial contamination in processed tomato by electronic nose. **Food Control** 20:837-880. 2009

COSTA G. et al. Innovative application of on destructive techniques for fruit quality and disease diagnosis. **Acta Horticulturae** 753(1):275-282, 2007.

CROUCH S, HOLLER FA, SKOOG DA Principles of instrumental analysis. **Thomson Brooks/ Cole**, Belmont. 2007.

CUI, H. et al. Application of anatasa TiO₂ sol derived from peroxotitanic acid in crop diseases control and growth regulation. **NSTI-Nanotech**. 286-289, 2009.

CURSINO, L. et al. Twitching motility and biofilm formation are associated with tonB1 in *Xylella fastidiosa*. **FEMS Microbiology Letters**, 299, 193-199, 2009.

EIFLER, J. et al. Differential detection of potentially hazardous *Fusarium* species in wheat grains by an electronic nose. **PLoS one**, v. 6, n. 6, p. e 21026, 2011.

ELMER, W. H.; WHITE, J.C. The use of metallic oxide nanoparticles to enhance growth of tomatoes and eggplants in disease infested soil or soilless medium. **Environmental Science: Nano**, v. 3, n. 5, p. 1072-1079, 2016.

EVANS, A.A.F. & PERRY, R.N. Survival strategies in ematodes. In: Croll, N.A. (Ed.) **The Organisation of Nematodes**, New York & London, Academic Press: 383-424. . 1976.

EVANS, A.A.F.; THOMASON, I.J.. Ethylene dibromide toxicity to adults, larvae and moulting stages of *Aphelenchus avenue*. **Nematologica**, 17: 1971

FELIPINI, R.B. et al. Apple scab control and activation of plant defence responses using potassium phosphite and chitosan. **European Journal Plant Pathology**, v.145, p. 929-939, 2016.

FENG, Y. et al. N-Heterocyclic molecule-capped gold nanoparticles as effective antibiotics against multi-drug resistant bacteria, **Nanoscale**, 8(27), 13223-13227, 2016.

FERRAZ, S. et al. **Manejo sustentável de fitonematoides**. Viçosa: UFV, 2010. 306p.

GALON, L. et al. Biological weed management – A short review. **Revista Brasileira de Herbicida**, v. 15, n. 1, p. 116-125, 2016.

GILL, S. S.; COWLES, E. A.; PIETRANTONIO, P. V. The mode of action of *Bacillus thuringiensis* endotoxins. **Annual review of entomology**, v. 37, n. 1, p. 615-634, 1992.

GLARE, T. et al. Have biopesticides come of age? **Trends Biotechnol**, v.30, p. 250-258, 2012

GRAEFF, S.; LINK, J.; CLAUPEIN, W. Identification of powdery mildew (*Erysiphe graminis* sp. tritici) and take-all disease (*Gaeumannomyces graminis* sp. tritici) in wheat (*Triticum aestivum* L.) by means of leaf reflectance measurements. **Central European Journal of Biology**, v. 1, n. 2, p. 275-288, 2006.

HAGUE, N. G. M. A technique to assess the efficacy of nonvolatile nematicides against the potato cyst nematode *Globodera rostochiensis*. **Annals of Applied Biology**, v. 93, n. 2, p. 205-211, 1979.

HAO, Y. et al. Potential applications and antifungal activities of engineered nanomaterials against gray mold disease agent *Botrytis cinerea* on rose petals. **Frontiers in plant science**, v. 8, p. 1332, 2017.

HEWITT, G. New modes of action of fungicides. **Pesticides Outlook** v.11, p.28-32. 2000.

IBRAHIM A.D. et al. Volatile metabolites profiling to discriminate diseases of tomato fruits inoculated with three toxigenic fungal pathogens. **Res Biotechnol** 2:14-22, 2011.

ISSA, B. et al. Magnetic nanoparticles: Surface effects and properties related to biomedicine applications. **International Journal of Molecular Sciences**. v. 1411 p.21266-21305, 2013.

JESCHKE, P. Progresso f modern agricultural chemistry and future prospects. **Pest Management Science**, v.72, p.433-455. 2016.

KAH, M; HOFMANN, T. Nanopesticide research: Current trends and future priorities. **Environment International**, v.63, p. 224-235. 2014

KHAN, M. R, RIZVI, T. F. Nanotechnology: Scope and application in plant disease management. **Plant Pathology Journal**, v.13, p. 214-231, 2014

KIM, S. W. et al. Antifungal Effects of Silver Nanoparticles (AgNPs) against Various Plant Pathogenic Fungi. **Mycobiology**, v. 40(1), p. 53-58, 2012

LAKSHMI M.J, CHOWDAPPA P, MAHMOOD R. Secondary metabolite profiling of plant pathogenic *Alternaria* species by matrix assisted laser desorption ionization-time of flight (MALDITOF) mass spectrometry. **Indian Phytopathol** 67:374-382, 2014.

LEADBEATER, A. Recents developments and challenges in chemical disease control. **Plant Protection Science**, v.15, n.4, p.163-169. 2015.

- LIMA N.V.; ARAUJO L.; PINTO F.A.M.F. Efeito preventivo e curativo de fungicidas sítio-específico para o controle da mancha foliar de *Glomerella*. In: 13º SENAFRUT - SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE FRUTICULTURA DE CLIMA TEMPERADO. 13º, 2018, São Joaquim - SC. Florianópolis: Epagri, **Resumos...** v. 31, p. 200-200, 2018.
- LIMA, J.D.et al. Respostas fisiológicas em mudas de bananeira tratadas com estrobilurinas. **Semina: Ciências Agrárias**, v.33, n.1, p.77-86, 2012.
- LINGLAN, M. et al. Rubisco activase mRNA expression in spinach: modulation by nanoanataase treatment. **Biological trace element research**, v. 122, n. 2, p. 168-178, 2008.
- MACEDO, A.C.et al. Estrobilurinas e boscalida na qualidade de frutos de melão rendilhado. **Semina: Ciências Agrárias**, v.38, n.2, p.543-550. 2017.
- MAPA. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa Conjunta de 2014 Registro de agrotóxicos para Fitossanitário Insuficiente - CSFI MAPA - ANVISA - IBAMA Versão 1 – fevereiro de 2015 **Manual de procedimentos**. Instrução Normativa Conjunta 01, de 16 de junho, 2015. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/agrotoxicos/arquivos/manual-de-procedimentos-de-registro-de-agrotoxicos-para-culturas-com-suporte-fitossanitario-insuficiente-1.pdf/view>> Acesso em: 25 jun 2018
- MAREK, J. **Fungicidas de efeitos fisiológicos no controle do míldio e no desenvolvimento de mudas de videira**. 57 f. 2016. Dissertação (Mestrado Produção vegetal). Universidade Estadual do Centro-Oeste, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Guarapuava. PR. 2016
- MARRONE, P. **Trends and new opportunities for ag biologicals**. 2014 . Disponível em: < <http://www.seedcentral.org/presentations/MarronePam.pdf>> Acesso em: jun 2018.
- MARTIN K.J, RYGIWICZ P.T Fungal-specific PCR primers developed for analysis of the ITS region of environmental DNA extracts. **BMC Microbiol** 5:28, 2005.
- MARTINS, M.V.V.et al. Influência das épocas de floração e dos períodos de proteção fenológica à infecção do oídio no clone de cajueiro-anão BRS 189. **Revista Ceres**, v.64, n.6, p.574-581. 2017.
- MARTINS, M.V.V.et al. Incidência e controle químico da ferrugem da goiabeira em diferentes épocas de poda na região norte do Espírito Santo. **Revista Ceres**, v.59, n.2, p.178-184. 2012.
- MARTINS, M.V.V.et al. Chemical control of guava rust (*Puccinia psidii*) in the Northern Region of Rio de Janeiro State, Brazil. **Australasian Plant Pathology**, v.40, p.48-54. 2011
- MEDEIROS C.L.; ARAUJO L.; PINTO F.A.M.F. Avaliação de eficiência do fungicida difenoconazol para o controle da sarna da macieira. In: 13º SENAFRUT - SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE FRUTICULTURA DE CLIMA TEMPERADO. 13º, 2018, São Joaquim - SC. Florianópolis: Epagri, **Resumos...**v. 31, p. 59-59, 2018.
- MUKHOPADHYAY, Siddhartha S. Nanotechnology in agriculture: prospects and constraints. **Nanotechnology, science and applications**, v. 7, p. 63, 2014.
- NAVYA, P. N.; DAIMA, H.K. Rational engineering of physicochemical properties of nanomaterials for biomedical applications with nanotoxicological perspectives. **Nano Convergence**. V.3, n.1,p 1-14, 2016
- NELMES, A.J. Behavioral responses of *Heterodera rostochiensis* larvae to aldicarb and its sulfoxide and sulfone. **Journal of Nematology**. v. 2, p. 223-227, 1970.
- OECD, *Policy Instruments to Support Green Growth in Agriculture*, OECD Green Growth Studies, **France: OECD Publishing**, 2013
- OLSON, S. et al. Green Dreams or Growth Opportunities: Assessing the Market Potential for “Greener” Agricultural Technologies. **State of the Market Report**, December 26, 2013
- PRASAD, R.; BHATTACHARYYA, A; NGUYEN, Q.D. Nanotechnology in sustainable agriculture: recent developments, challenges, and perspectives. **Frontiers in microbiology** v.8: p. 1014, 2017.
- RONCHI, C. P; SILVA, A. A. Sustainable Weed Control in Coffee. In: KORRES, N. E.; BURGOS, N. R.; DUKE, S. O. (Eds.). **Weed control: sustainability, hazards and risks in cropping systems worldwide**. Science Publishers (An Imprint of CRC Press/ Taylor & Francis Group), 2018. (in press).
- RUSSEL, P.E. A century of fungicide evolution. **Journal of Agricultural Science**, v.143, p.11-25. 2005.
- SASAKI, R.S.et al. Deposição e uniformidade de distribuição da calda de aplicação em plantas de café utilizando a pulverização eletrostática. **Ciência Rural**, v.43, n.9, p.1605-1609. 2013.
- SASAKI, R.S.et al. Adjuvante nas propriedades físicas da calda, espectro e eficiência de eletrificação das gotas utilizando a pulverização eletrostática. **Ciência Rural**, v.45, n.2, p.1-7. 2015.
- SAVITHRAMMA, N. et al. Antimicrobial activity of silver nanoparticles synthesized by using medicinal plants. **International Journal of ChemTech Research**, v. 3, n. 3, p. 1394-1402, 2011.
- SCOTT, I. M. et al. Botanical insecticides for controlling agricultural pests: piperamides and the Colorado potato beetle *Leptinotarsa decemlineata* Say (Coleoptera: Chrysomelidae). **Archives of Insect Biochemistry and Physiology: Published in Collaboration with the Entomological Society of America**, v. 54, n. 4, p. 212-225, 2003.
- SEKHON, B. S. Nanotechnology in agri-food production: an overview. **Nanotechnology, science and applications**, v. 7, p. 31, 2014.
- SERVIN, A. et al. A review of the use of engineered nanomaterials to suppress plant disease and enhance crop yield. **Journal of Nanoparticle Research**, v. 17, n. 2, p. 92, 2015.

SILVA, A. A., SILVA, J. F. Eds. **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa, MG. Editora UFFV. 2007. 367p.

SIMNER, P. J. et al. Broad-range direct detection and identification of fungi using the PLEX-ID PCR-electrospray ionization mass spectrometry (ESI-MS) system. **Journal of clinical microbiology**, p. JCM. 03282-12, 2013.

SOPEÑA, F. et al. Controlled release of the herbicide norflurazon into water from ethylcellulose formulations. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v. 53, n. 9, p. 3540-3547, 2005.

STADNIK, M.J. **Manejo integrado de doenças da macieira**. Florianópolis: UFSC - CCA, p.229, 2009.

SUMMY, K. R.; LITTLE, C.R. Using color infrared imagery to detect sooty mold and fungal pathogens of glasshouse-propagated plants. **HortScience**, v. 43, n. 5, p. 1485-1491, 2008.

TOJU, H. et al. High-coverage ITS primers for the DNA-based identification of ascomycetes and basidiomycetes in environmental samples. **PLoS one**, v. 7, n. 7, p. e40863, 2012.

VALDEBENITO-SANHUEZA, R.M.et al. et al. Doenças da macieira. In: AMORIM, L.; REZENDE, J.A.M.; BERGAMIN FILHO, A. et al. (Eds.). **Manual de Fitopatologia: Doenças das plantas cultivadas**. São Paulo, SP: Ceres, p.485-497, 2016.

WRIGHT, DENIS J. Nematicides: mode of action and new approaches to chemical control. In: ZUCKERMAN, B. M.; ROHDE, R. A. (Eds) **Plant parasitic nematodes**, New York, Academic Press, v. 3, p. 421-449, 1981.

ZHAO, L. et al. Detection and Molecular Variability of Turnip mosaic virus (TuMV) in Shaanxi, China. **Journal of Phytopathology**, v. 162, n. 7-8, p. 519-522, 2014.

ZHENG, L. et al. Effect of nano-TiO₂ on strength of naturally aged seeds and growth of spinach. **Biological trace element research**, v. 104, n. 1, p. 83-91, 2005.