

Uso atual e perspectivas do *Trichoderma* no Brasil

Wagner Bettiol

Juliano Cesar da Silva

Maria Luiza Marcico Publio de Castro

Conceitos

No transcorrer dos capítulos do livro, diversos termos relacionados ao controle biológico de doenças de plantas são utilizados. Assim, é de extrema importância que estes termos sejam conceituados. Controle biológico será utilizado neste livro, que é dedicado exclusivamente ao mais importante gênero de fungos considerados como agentes de controle biológico de doenças de plantas, como o controle de um organismo por outro organismo, ou ainda o controle de um agente causal de uma doença de planta por um microrganismo antagonista. Entretanto, o conceito de controle biológico mais aceito pela comunidade é ... “a redução da soma de inóculo ou das atividades determinantes da doença, provocada por um patógeno, realizada por um ou mais organismos que não o homem” (Cook; Baker, 1983). Para esses autores, as atividades determinantes das doenças implicam crescimento, infectividade, virulência, agressividade e outras qualidades do patógeno ou processos que determinam a infecção, o desenvolvimento de sintomas e a reprodução. E os organismos incluem: indivíduos ou populações avirulentas, hipovirulentas dentro das espécies patogênicas; plantas hospedeiras manipuladas geneticamente ou por práticas culturais; microrganismos, para maior ou mais efetiva resistência contra o patógeno; e antagonistas dos patógenos (definidos como microrganismos que interferem na sobrevivência ou atividades determinantes de doenças causadas por patógenos). Desta forma, de acordo com Cook e Baker (1983), neste conceito, o controle biológico pode ser acompanhado de: práticas culturais para criar um ambiente favorável para os antagonistas e a resistência da planta hospedeira, ou ambas as coisas; melhoramento das plantas para aumentar a resistência ao patógeno ou para melhor se adaptar às atividades dos

antagonistas; introdução dos antagonistas, isolados não patogênicos e outros organismos ou agentes benéficos; e outras práticas culturais.

Outro termo que será constantemente utilizado nos capítulos é biopesticidas. De acordo com Bettiol (2011) biopesticidas são organismos vivos (fungos, bactérias, protozoários, straminipila e vírus), animais microscópicos (nematóides) e macrorganismos (predadores e parasitoides, insetos e ácaros) ou produtos naturais derivados desses organismos que são usados na proteção das plantas contra problemas fitossanitários. Assim, o termo biofungicidas indica os organismos agentes de biocontrole utilizados para controlar doenças de plantas.

Neste capítulo também será discutida a evolução da legislação brasileira para o registro de produtos de baixa toxicidade e periculosidade, onde se enquadram os produtos contendo agentes de biocontrole.

Mercado

O mercado global de biopesticidas foi de US\$ 6,387 bilhões em 2017 e estima que alcance US\$ 16,7 bilhões até 2024, com uma taxa anual de crescimento - CAGR (compound annual growth rate) de 15% (Markets&Markets, 2019). Entretanto, a previsão de 2012 era de que o mercado atingiria em 2017 o valor de US\$ 3,2 bilhões. Esses dados indicam o acentuado crescimento deste método de controle no mundo. Por outro lado, a CAGR para o mercado de pesticidas químicos está prevista para 2,3% ao ano até 2023, devendo atingir o valor US\$ 55,6 bilhões.

No ano de 2018 a indústria brasileira de controle biológico registrou um dos maiores índices de crescimentos de vendas de sua história. O conjunto das empresas associadas à Associação Brasileira das Empresas de Controle Biológico (ABCBio), que representa 70% do mercado, fechou o ano com vendas totais da ordem de R\$ 464,5 milhões, resultando numa expansão de 77% (Brasil, 2019), referente ao faturamento de R\$ 262,4 milhões obtidos no ano de 2017. Os dados foram apurados em levantamento do Departamento de Estatística da entidade. Estes dados demonstram a tendência de maior adoção da tecnologia por parte do agricultor. Dentre os biopesticidas, o mercado brasileiro para os biofungicidas apresentou um incremento de 148% em 2018, quando comparado com o ano anterior. Estes dados demonstram o interesse pelo agricultor na utilização da tecnologia. Atualmente, os biofungicidas registrados no Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (Mapa) são à base de *Trichoderma harzianum*, *Trichoderma asperellum*, *Trichoderma koningiopsis* e *Trichoderma stromaticum* (Figura 1), além de biofungicidas à base de *Bacillus subtilis*, *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus pumilus*, *Bacillus licheniformis* e *Bacillus methylotrophicus*.

Apesar do avanço nos últimos anos, os biopesticidas representam menos do que 20% dos pesticidas registrados no Brasil em 2019 (Agrofit, c2003). Em agosto de 2011 havia somente 27

produtos à base de agentes de biocontrole registrados no Brasil, em meados de 2018 esse número chegou a 137 e subiu para 200 em março de 2019 (Agrofit, c2003). Esses dados indicam a importância dos biopesticidas no agronegócio brasileiro.

Trichoderma mudou completamente o cenário de controle biológico de doenças de plantas no Brasil. O primeiro produto disponibilizado no mercado para uso no Brasil, à base de *Trichoderma*, foi em 1987. O produto continha grãos de sorgo colonizados por *Trichoderma viride* para o controle de *Phytophthora cactorum*, sendo produzido pela Embrapa Clima Temperado. Entretanto, o aumento da produção e uso de *Trichoderma* ocorreu após o ano 2000. O primeiro registro de um produto comercial à base de *Trichoderma* foi em 2006 (Bettiol et al., 2014). Em 2008 produtos à base de *Trichoderma* foram aplicados em aproximadamente 600.000 ha de soja para o controle do mofo branco causado por *Sclerotinia sclerotiorum*. A importância de produtos à base de *Trichoderma* para o Brasil, pode ser avaliada pela área tratada já em 2010 que foi superior a 1,2 milhões de ha, tendo chegado a mais de 5 milhões de ha em 2015.

Analisando os biofungicidas à base de *Trichoderma*, no ano 2019, o número total de produtos registrados no Mapa, à base de espécies deste bioagente, foi de 21 (Figura 1). Destes, 66% dos produtos registrados são à base de *Trichoderma harzianum*, 24% à base de *Trichoderma asperellum*, 5% à base de *Trichoderma koningiopsis* e 5% à base de *Trichoderma stromaticum* (Figura 2).

Os biofungicidas à base de *Trichoderma* são utilizados no Brasil para as culturas da soja, algodão, milho, feijão, morango, citros, cana-de-açúcar, café, tabaco, hortaliças, ornamentais, frutíferas e espécies florestais. Em diversas situações produtos à base de *Trichoderma* são utilizados para promoção de crescimento. Inclusive no Brasil tem um produto registrado com esta finalidade (Tabela 1).

Outro aspecto fundamental para o crescimento do mercado de controle biológico no Brasil foi o avanço na legislação. Sem os recentes avanços coordenados entre Mapa, Ibama e Anvisa, as empresas teriam dificuldades em obter o registro dos produtos. Assim, o próximo item deste capítulo discute exatamente a evolução da legislação brasileira para o registro de produtos de baixa toxicidade e periculosidade, onde estão incluídos os agentes de biocontrole.

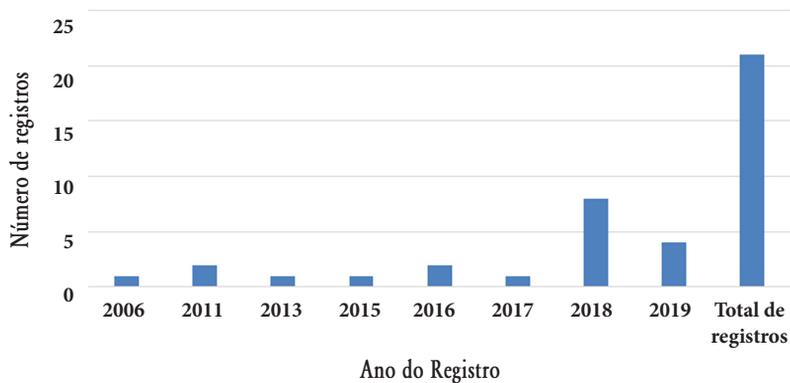


Figura 1. Número de biofungicidas à base de *Trichoderma* spp. registrados no Brasil.

Fonte Agrofit (c2003).

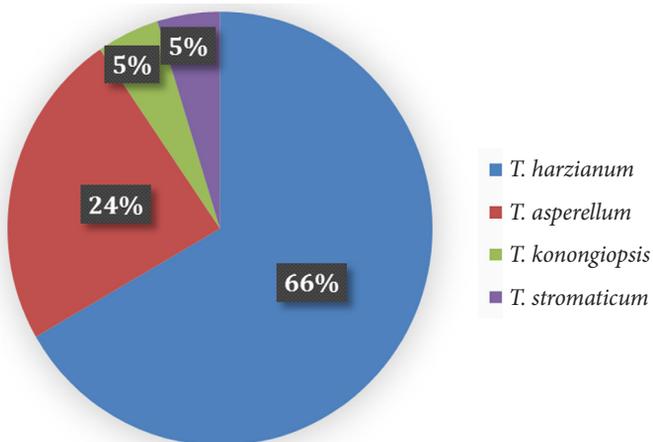


Figura 2. Biofungicidas registrados à base das espécies de *Trichoderma* no Brasil em porcentagem.

Fonte: Agrofit (c2003).

Tabela 1. Produtos biológicos formulados à base de *Trichoderma* spp. e registrados no mercado brasileiro¹ (Agrofit, c2003).

Microorganismo antagonista	Produto (Empresa) e ano de registro	Concentração Declarada - produto comercial	Formulação	Alvo
<i>Trichoderma asperellum</i>	Quality (Laboratório de Bio Controle Farroupilha Ltda)/2011	1,5 x 10 ¹⁰ UFC/g	Granulado dispersível	<i>Fusarium solani</i> f. sp. <i>phaseoli</i> , <i>Rhizoctonia solani</i> e <i>Sclerotinia sclerotiorum</i>
	Organic WP (Laboratório de Bio Controle Farroupilha Ltda)/2016	1,0 x 10 ¹⁰ UFC/g	Pó-molhável	<i>Fusarium solani</i> f. sp. <i>phaseoli</i> e <i>Rhizoctonia solani</i>
	Trichodermax EC (Novozymes)/2011	1,5 x 10 ⁸ conídios viáveis/mL	Concentrado emulsionável	<i>Fusarium solani</i> f. sp. <i>glycines</i> , <i>Rhizoctonia solani</i> e <i>Sclerotinia sclerotiorum</i>
	Tricho-Turbo (Biovalens)/2018	1,0 x 10 ¹⁰ conídios viáveis/mL	Concentrado emulsionável	<i>Rhizoctonia solani</i>
	Bio-Hulk (Biovalens)/2019	1,5 x 10 ¹⁰ conídios viáveis/mL	Concentrado emulsionável	<i>Rhizoctonia solani</i>
	Ecotrich WP (Ballagro)/2013	1,0 x 10 ¹⁰ UFC/g	Pó-molhável	<i>Rhizoctonia solani</i> e <i>Sclerotinia sclerotiorum</i>
	Predatox (Ballagro)/2011	2,0 x 10 ⁸ UFC/mL	Suspensão concentrada	<i>Rhizoctonia solani</i> e <i>Sclerotinia sclerotiorum</i>
	Majestic (Ballagro)/2018	1,0 x 10 ¹⁰ UFC/g	Pó-molhável	<i>Rhizoctonia solani</i> e <i>Sclerotinia sclerotiorum</i>
	Trichodermil SC (Koppert)/2006	2,0 x 10 ⁸ conídios viáveis/mL	Suspensão concentrada	<i>Fusarium solani</i> f. sp. <i>phaseoli</i> , <i>Pratylenchus zaei</i> , <i>Rhizoctonia solani</i> , <i>Sclerotinia sclerotiorum</i> e <i>Thielaviopsis paradoxa</i>
	Trichodermil DS (Koppert)/2018	1,0 x 10 ⁸ UFC/g	Granulado dispersível	<i>Macrophomina phaseolina</i> e <i>Pratylenchus brachyurus</i>
<i>Trichoderma harzianum</i>	Trichodermil Super SC 1306 (Koppert)/2019	2,0 x 10 ⁹ conídios viáveis/mL	Suspensão concentrada	<i>Fusarium solani</i> f. sp. <i>phaseoli</i> , <i>Pratylenchus zaei</i> , <i>Rhizoctonia solani</i> , <i>Sclerotinia sclerotiorum</i> e <i>Thielaviopsis paradoxa</i>
	Octane (Koppert)/2018	2,0 x 10 ⁸ conídios viáveis/mL	Suspensão concentrada	<i>Rhizoctonia solani</i> e <i>Sclerotinia sclerotiorum</i>
	Daytona (Koppert)/2018	2,0 x 10 ⁸ conídios viáveis/mL	Suspensão concentrada	<i>Fusarium solani</i> f. sp. <i>phaseoli</i> , <i>Pratylenchus zaei</i> , <i>Rhizoctonia solani</i> , <i>Sclerotinia sclerotiorum</i> e <i>Thielaviopsis paradoxa</i>
	Triaction (Koppert)/2018	1,0 x 10 ⁸ UFC/g	Grânulo dispersível	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i> e <i>Sclerotinia sclerotiorum</i>
	Trianium WG (Koppert)/2017	1,0 x 10 ⁸ UFC/g	Grânulo dispersível	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i> e <i>Sclerotinia sclerotiorum</i>
	Stimucontrol (Simbiose)/2016	1,0 x 10 ⁹ UFC/L	Suspensão concentrada	<i>Rhizoctonia solani</i> e <i>Sclerotinia sclerotiorum</i>
	Trychonyd FR 25 (TZ Biotech)/2019	1,1 x 10 ⁸ UFC/cm ²	Gel emulsionável	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>
	Rizoderma (Ballagro)/2019	1 x 10 ¹⁰ UFC/g	Pó-molhável	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i> e <i>Rhizoctonia solani</i>
	Bio Zenon (Simbiose)/2019	1,0 x 10 ⁹ UFC/L	Suspensão concentrada	<i>Rhizoctonia solani</i> e <i>Sclerotinia sclerotiorum</i>
	Natucontrol (Nufarm)/2019	1 x 10 ⁷ UFC/g	Pó-molhável	<i>Rhizoctonia solani</i> , <i>Sclerotinia sclerotiorum</i> e <i>Fusarium solani</i> f. sp. <i>phaseoli</i>

continua...

Tabela 1. Continuação

Microrganismo antagonista	Produto (Empresa) e ano de registro	Concentração Declarada - produto comercial	Formulação	Alvo
<i>Trichoderma harzianum</i> + <i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	Shocker (Agrivalle)/2018	1,0 x 10 ⁷ UFC/g + 1,0 x 10 ⁸ UFC/g	Pó-molhável	<i>Rhizoctonia solani</i> e <i>Sclerotinia sclerotiorum</i>
<i>Trichoderma koningiopsis</i>	Diamond (Farroupilha)/2018	3,0 x 10 ⁹ UFC/g	Grânulo dispersível	<i>Heterodera glycines</i> , <i>Meloidogyne</i> e <i>Pratylenchus brachyurus</i>
<i>Trichoderma stromaticum</i>	Tricovab (Ceplac)/2012	2,3 x 10 ⁸ esporos/g	Pó-molhável	<i>Monilophthora perniciosa</i>

¹Estes são os bioprodutos registrados. Entretanto, até o momento, diversos outros continuam sendo comercializados sem registro. No mercado brasileiro existe um bioproduto à base de *Trichoderma harzianum*, *T. asperellum* e *T. koningiopsis* registrado como inoculante (ICB Nutrisolo, da empresa ICB). ²UFC: unidades formadoras de colônia.

Evolução da legislação brasileira para o registro de produtos de baixa toxicidade e periculosidade

O registro de um produto é a forma legal de sua comercialização no país, seja por intermédio de formulação/fabricação dos seus componentes e/ou de importação/exportação do mesmo. O objetivo do registro, entre outras coisas, é garantir a segurança da população e do meio ambiente, além de garantir padrões de qualidade e eficiência dos produtos.

O Brasil tem uma das mais avançadas legislações para registro de produtos voltados a agricultura brasileira e a ambientes urbanos do mundo. Conectadas as essas legislações estão diversas outras que também devem ser observadas pelos empreendedores que buscam a legalização de seus produtos. Por mais paradoxal que seja, no Brasil, os Produtos de Baixa Toxicidade e Periculosidade, como por exemplo, os produtos biológicos utilizados no controle de pragas e doenças agrícolas, em função do seu enquadramento, são regulados pela Lei nº 7.802/89 (Brasil, 1989), a Lei de Agrotóxicos e Afins. Ressalta-se ainda que não é a origem dos produtos que os classifica nesse contexto, mas sim a finalidade para a qual os produtos se destinam, ou seja, controlar seres vivos considerados nocivos (Castro e Oliveira-Filho, 2006).

Um produto é definido como agrotóxico ou afim, segundo regulamentação, se for um produto ou agente “de processos físicos, químicos ou biológicos, destinados ao uso nos setores de produção, no armazenamento e beneficiamento de produtos agrícolas, nas pastagens, na proteção de florestas, nativas ou implantadas, e de outros ecossistemas e também de ambientes urbanos, hídricos e industriais, cuja finalidade seja alterar a composição da flora ou da fauna, a fim de preservá-las da ação danosa de seres vivos considerados nocivos”. Nesse contexto, se enquadram na legislação os agentes de controle biológico (Brasil, 2006a), os agentes de controle microbiológico (Brasil, 2006b), os semioquímicos (Brasil, 2006c) e os bioquímicos (Brasil, 2006d).

Anteriormente a Lei de Agrotóxicos e Afins, a legislação que regulamentava o setor era extremamente antiga, tendo como base o Decreto nº 24.114/34 (Brasil, 1934). Naquela época, o registro de produtos agrotóxicos era de competência apenas do Ministério da Agricultura. A Lei nº 7.802/89 (Brasil, 1989) trouxe uma série de inovações e benefícios garantindo a segurança da população e do meio ambiente, assegurando padrões de qualidade e eficiência, além do uso seguro dos agrotóxicos no país, envolvendo conjuntamente três órgãos federais como regulamentadores: o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa), a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa, vinculada ao Ministério da Saúde) e o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis (Ibama, vinculado ao Ministério do Meio Ambiente). Todo o detalhamento dos requisitos necessários ao registro dos produtos agrotóxicos e afins encontra-se estabelecido no Decreto 4.074/02 (Brasil, 2002), que, além de mencionar a necessidade de publicação de demais instrumentos jurídicos normativos específicos existentes para cada produto considerado de Baixa Toxicidade e Periculosidade, levanta a questão da priorização e avaliação diferenciada dessa categoria de produtos.

Um fator complicador para alavancar a priorização e a avaliação diferenciada dos produtos considerados de Baixa Toxicidade e Periculosidade, de que trata o Decreto 4.074/02 (Brasil, 2002), é a inexistência de norma que defina o termo “Baixa Toxicidade e Periculosidade”. Esse detalhe é de extrema importância, pois sem uma definição apropriada, cada um dos órgãos federais regulamentadores, pode interpretar a sua maneira, quais produtos, analisados caso a caso, devem ou não receber a tramitação priorizada, estabelecida no Decreto. Cabe ressaltar que a avaliação para esses produtos não segue um padrão prévio, como acontece com os agrotóxicos químicos convencionais, uma vez que apresentam peculiaridades que os colocam em uma situação individualizada e, muitas vezes, inéditas para o avaliador (Castro e Oliveira-Filho, 2006). Esse ineditismo vem ocorrendo com frequência, pois com o avanço da ciência, novos produtos chamados de “alternativos” surgem constantemente no mercado.

Anteriormente a publicação de normas específicas que contemplassem os requisitos técnicos exigidos para o registro, diferenciando os produtos de baixa toxicidade e periculosidade dos agrotóxicos convencionais, todo o processo de avaliação e registro, era voltado exclusivamente para a avaliação de substâncias químicas. Os demais produtos enquadrados na mesma Lei, totalmente distintos, também seguiam os mesmos protocolos. Somente a partir da publicação da Portaria Normativa Ibama nº 131/97 (Ibama, 1997), iniciou-se a aplicação de requisitos diferenciados para a regulação de produtos com base em agentes microbiológicos de controle, diferenciando-os dos agrotóxicos químicos convencionais, aplicando-se o sistema de fases para desenvolver a sua avaliação.

Esse primeiro avanço, frente à regulamentação dos produtos agrotóxicos, além de reduzir o número de estudos obrigatórios para o registro dos produtos considerados de baixa toxicidade

e periculosidade minimizando os custos em relação a apresentação de dados, teve a intenção de otimizar o tempo de avaliação dos pleitos de registro de produtos com essa característica.

Um problema enfrentado quando da publicação da Portaria nº 131/97 (Ibama, 1997) foi a harmonização dos requisitos necessários para a elaboração dos processos de registro dos Produtos Microbiológicos, uma vez que a Lei de Agrotóxicos e Afins definiu a competência conjunta entre Anvisa, Mapa e Ibama para a avaliação e registro dos mesmos e somente o Ibama apresentou esse documento jurídico detalhando quais seriam os parâmetros técnicos exigidos para um pleito de registro. Neste sentido, a Anvisa, também entendendo que seus regulamentos existentes para Agrotóxicos e Afins relativos a saúde humana, tais como a Portaria nº 03/92 (Brasil, 1992), não tratavam especificamente de Produtos Microbiológicos, publicou a Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) nº 195/02 (Anvisa, 2002), com o objetivo de diferenciar e priorizar o registro destes produtos no contexto dos Agrotóxicos e Afins.

A harmonização das normas e requisitos técnicos para o Registro de Produtos Biológicos, com base na Lei de Agrotóxicos e Afins, se completou com a publicação de Instruções Normativas Conjuntas, mencionadas pelo Decreto nº 4.074/02, ao estabelecer a priorização para avaliação diferenciada dessa categoria de produtos. A Instrução Normativa Conjunta nº 3/06 (Brasil, 2006b), que trata da regulamentação de Produtos Microbiológicos, contemplando todos os aspectos referentes às avaliações da Anvisa, Ibama e Mapa, é o exemplo principal dessa questão.

Os instrumentos legais depois de harmonizados entre os órgãos governamentais competentes pelo registro dos Produtos considerados de baixa toxicidade e periculosidade, inseridos na Lei de Agrotóxicos e afins, mantiveram a divisão em fases, dos requisitos técnicos obrigatórios a serem apresentados durante o processo de registro conforme sugerido originalmente pela Portaria Normativa Ibama nº 131/97 (Ibama, 1997), específica para Produtos Microbiológicos. Com a manutenção desse sistema, o Governo Federal evidenciou a tentativa de reduzir alguns vieses existentes na legislação, aumentando a possibilidade de registro desses produtos no mercado brasileiro (Rangel, 2006). Essa avaliação é realizada com base no entendimento de que, quanto menor a toxicidade de produtos usados no controle de pragas e doenças, maior será a segurança da população e do meio ambiente.

Considerando a possível baixa toxicidade dos produtos, o escopo da análise divide-se em três fases distintas (I, II e III) (Tabelas 2 a 8) e objetiva exigir o que é realmente necessário para comprovar a toxicidade desses produtos como é o caso dos Produtos Microbiológicos. A Fase I consiste em uma bateria de testes de curta duração. Caso nenhum efeito adverso seja observado nesta primeira fase, não há necessidade da realização dos demais testes das Fases II e III. A Fase II avalia uma situação particular, quando são encon-

trados indícios de toxicidade ou efeitos adversos na Fase I. Quando forem observados danos nos resultados dos estudos da Fase II, devem ser realizados diretamente os estudos da Fase III.

Outro exemplo importante que demonstra avanços na diferenciação dos Produtos de Baixa Toxicidade e Periculosidade daqueles considerados Agrotóxicos convencionais são os requisitos exigidos pela Instrução Normativa Conjunta nº 25/05 (Brasil, 2005), que trata do Registro Especial Temporário (RET), mecanismo criado pelo governo, para ser informado sobre as pesquisas e experimentações que estão em condução no Brasil na área de defesa vegetal. Para receber o Certificado de RET é necessário o envio de informações para que o governo tome ciência sobre as pesquisas de eficácia e da toxicidade do produto. Em se tratando dos Produtos Microbiológicos dentre outros, considerados diferentes daqueles Agrotóxicos convencionais, não há necessidade de pagamento da Taxa de RET, estabelecida pelo Ibama, que pode variar de R\$ 1.443,54 (Hum mil, quatrocentos e quarenta e três reais e cinquenta e quatro centavos) a R\$ 5.779,59 (cinco mil, setecentos e setenta e nove reais e cinquenta e nove centavos). Até este momento, a mudança acontece somente no Ibama, pois as taxas cobradas pela Anvisa, a depender do porte da Empresa, continuam as mesmas. Outro exemplo de evolução da legislação visando minimizar as dificuldades para o registro de produtos considerados de baixa toxicidade devido as exigências, é o da não necessidade de destruição das áreas de terceiros após utilizadas para a experimentação com produtos como os Agentes Biológicos de Controle (parasitoides e predadores) - Instrução Normativa Conjunta nº 2/06 (Brasil, 2006c), além dos Produtos Semioquímicos. Antes da publicação da Instrução Normativa Conjunta nº 25/05 (Brasil, 2005), o proprietário da terra deveria receber uma indenização pela destruição dos restos culturais, pois não poderia mais utilizar a cultura para nenhuma finalidade.

Ao longo dos anos, algumas soluções foram implantadas pelos órgãos governamentais na tentativa de otimizar a tramitação dos pleitos de registro submetidos à Lei de Agrotóxicos e Afins. O Sistema Eletrônico de Requerimento de Análise de Registro Especial Temporário (SISRET) foi uma dessas soluções. Porém, desde a sua implantação até o momento, o SISRET atende somente as necessidades dos Agrotóxicos químicos convencionais. Ainda não são contemplados pelo sistema eletrônico produtos biológicos e/ou naturais, considerados de Baixa Toxicidade e Periculosidade, que continuam tendo seus pleitos submetidos aos órgãos regulamentadores por meio de processos em papel. Isso diminui a agilidade da análise necessária, já que os protocolos eletrônicos são recebidos e analisados de imediato, enquanto que aqueles recebidos em papel seguem por outro caminho de tramitação até chegar às mesas dos técnicos analistas.

Outras importantes iniciativas apresentadas pelo governo visando agilizar o registro dos produtos de Baixa Toxicidade e Periculosidade foram trazidas com a publicação do Decreto nº 6.323/07 (Brasil, 2007) que disciplinou as atividades da Lei de Orgânicos nº 10.831/03

(Brasil, 2003) estabelecendo que os insumos com uso regulamentado para agricultura orgânica deveriam ser objeto de processo de registro priorizado e diferenciado. Neste contexto, o Mapa teria a responsabilidade de garantir sua simplificação e agilização estabelecendo procedimentos técnicos em atos complementares, em conjunto com os demais órgãos federais envolvidos na avaliação e registro desses produtos, Anvisa e Ibama.

Mesmo assim, somente com a publicação do Decreto nº 6.913/09 (Brasil, 2009) a conexão da Lei de Orgânicos com a Lei de Agrotóxicos e Afins ficou melhor entendida, uma vez que este Decreto, acresceu aos dispositivos do Decreto 4.074/02 (Brasil, 2002), que regulamenta a Lei de Agrotóxicos e Afins, definições como a de Produto Fitossanitário com uso na Agricultura Orgânica e também a definição de Especificação de Referência, como sendo especificações e garantias mínimas que os produtos fitossanitários com uso aprovado na agricultura orgânica deverão seguir para a obtenção de registro. O Decreto nº 6.913/09 e a INC n 1 (Brasil, 2011a) detalharam ainda, os procedimentos a serem seguidos para o registro desses produtos.

Até o fim de 2018 foram publicadas 36 (trinta e seis) Especificações de Referência, apresentando as características e os padrões de concentração estabelecidos pelo Governo para o registro de produtos como Produto Fitossanitário com uso aprovado na Agricultura Orgânica, tendo garantida a forma simplificada de organização dos processos, bem como a priorização e agilização da análise dos pleitos em cada um dos órgãos federais regulamentadores, Mapa, Anvisa e Ibama.

Os produtos que fazem parte da lista positiva das Especificações de Referência publicadas até este momento pelo Governo são:

a) Instrução Normativa Conjunta SDA/SDC nº 02 de 12 de julho de 2013 (Brasil, 2013).

1 - *Cotesia flavipes*; 2 - *Trichogramma galloi*; 3 - *Neoseiulus californicus*; 4 - Isca vegetal à base de *Tephrosia candida*; 5 - Baculovírus *Anticarsia gemmatalis*; 06 - Baculovírus *Condylorthiza vestigialis*; 7 - *Metarhizium anisopliae* isolado IBCB 425; 8 - *Trichoderma stromaticum* isolado CEPLAC 3550; 9 - *Azadirachta indica* (item alterado pela INC SDA/SPRC nº 1 de 6 de novembro de 2015) (Brasil, 2015b); 10 - *Beauveria bassiana* IBCB 66; 11 - *Phytoseiulus macropilis*; 12 - *Trichogramma pretiosum*; 13 - Regulador de crescimento à base de *Ecklonia máxima*; 14 - Terra de diatomácea (dióxido de silício); 15 - *Paecilomyces lilacinus* isolado UEL Pae 10;

b) Instrução Normativa Conjunta SDA/SDC nº 01 de 06 de fevereiro de 2015 (Brasil, 2015a):

16 - *Stratiolaelaps scimitus*; 17 - *Deladenus (Beddingia) siricidicola*; 18 - *Cryptolaemus montrouzieri*; 19 - *Trichoderma asperellum* isolado URM-5911; 20 - Baculovírus *Spodoptera frugiperda* (item alterado pela INC SDA/SPRC nº 1 de 6 de novembro de 2015) (Brasil, 2015b).

c) Instrução Normativa Conjunta SDA/SPRC nº 1, de 6 de novembro de 2015 (Brasil, 2015b):

9 - *Azadirachta indica* (item 9 do Anexo I e o item 20 do Anexo II, ambos da Instrução Normati-

va Conjunta SDA/SDC nº 2, de 12 de julho de 2013 (Brasil, 2013), alterado pela INC SDA/SPRC nº 1 de 6 de novembro de 2015) (Brasil, 2015b); 20 - Baculovirus *Spodoptera frugiperda*; 21 - *Chrysoperla externa*; 22 - *Trissolcus basalisi*; 23 - *Orius insidiosus*; 24 - *Trichoderma asperellum* isolado CBMAI 840 (T-211); 25 - *Bacillus subtilis* isolado UFPEDA 764; 26 - *Trichoderma harzianum* isolado IBLF006; 27 - *Bacillus methylotrophicus* isolado UFPEDA 20.

d) Instrução Normativa Conjunta SDA/SMC nº 1, de 28 de novembro de 2017 (Brasil, 2017):

28 - *Bacillus thuringiensis* var. *Kurstaki* isolado HD-1 (S1450) (CCT1306); 29 - *Beauveria bassiana* isolado CBMAI 1306.

e) Instrução Normativa Conjunta SDA/SMC nº 1, de 16 de abril de 2018 (Brasil, 2018a):

30 - *Beauveria bassiana* isolado IBCB 66 + *Metarhizium anisopliae* isolado IBCB 425.

f) Instrução Normativa Conjunta SDA/SMC nº 2, de 29 de agosto de 2018 (Brasil, 2018b):

31 - Acetato de (Z)-8-dodecenila + Acetato de (E)-8-dodecenila + (Z)-8-dodecenol (monitoramento - uso em armadilha); 32 - Acetato de (E)-8-dodecenila + Acetato de (Z)-8-dodecenila + (Z)-8-dodecenol (monitoramento - uso em armadilha); 33 - Acetato de (Z)-8-dodecenila + Acetato de (E)-8-dodecenila + (Z)-8-dodecenol (disrupção do acasalamento); 34 - Acetato de (E)-8-dodecenila + Acetato de (Z)-8-dodecenila + (Z)-8-dodecenol (disrupção do acasalamento); 35 - *Bacillus thuringiensis* isolado CBMAI 1398; 36 - *Diachasmimorpha longicaudata*.

Exemplos importantes dos avanços da legislação trazendo benefícios aos produtos considerados de Baixa Toxicidade e Periculosidade em relação aos agrotóxicos convencionais são o da publicação do ATO Mapa No. 6 de janeiro de 2014 (Brasil, 2014), que autorizou o uso desses produtos para controle nos alvos biológicos indicados em qualquer cultura nas quais ocorram, excetuando-se casos em que houver restrições pelos órgãos competentes, facultando às empresas indicar ou não em rótulo e bula, a eficiência do produto comprovada para culturas especificamente testadas. Também, o ATO Mapa No. 105, de 28 de dezembro de 2018 (Brasil, 2018c), dispensa a realização de testes de Toxicidade/Patogenicidade e de Ecotoxicidade na Fase I das avaliações para os produtos à base de Baculovirus, em função de suas características, reconhecendo esses como típicos patógenos de artrópodes e apresentando alta especificidade com relação a espécie-alvo.

Outros exemplos referem-se ao conteúdo das informações obrigatórias dispostas em rótulo e bula para produtos de baixa toxicidade, bem como o uso de pictogramas tais como caveira com duas tibias cruzadas entre outros símbolos que ao longo desta evolução, também foram entendidos, pelo Governo, como inadequados. Neste sentido, produtos de origem biológica, quando dispensados de apresentação de estudos toxicológicos conforme legislação específica, ficam dispensados de incluir o pictograma referente à caveira com as duas tibias cruzadas em seus rótulos e bulas, além de serem enquadrados na categoria de “Produto Não Classificado,

conforme as resoluções RDC Anvisa 296/19 e RDC Anvisa 294/19, além de apresentar a faixa verde ou branca de identificação, seguindo as diretrizes de rotulagem do Sistema Globalmente Harmonizado de Classificação e Rotulagem de Produtos GHS, adotadas pela Anvisa (Brasil 2019a; 2019b).

O avanço da legislação brasileira no que tange a regulamentação do registro de produtos diferenciados dos agrotóxicos convencionais visa trazer para a legalidade produtos que fazem parte de alternativas sustentáveis para o controle de pragas na agricultura brasileira. Mesmo assim, o enquadramento dos produtos considerados de Baixa Toxicidade e Periculosidade como os Produtos Microbiológicos, além de tantos outros na definição de Agrotóxicos e Afins, trouxe dificuldades para seu registro, devido a complexidade dos requisitos técnicos exigidos, bem como dos custos relacionados a obtenção de todos esses dados. Tantas inovações implantadas pelo Governo com descritas acima, ainda enfrentam dificuldades com o número diminuto de técnicos especializados voltados para a análise desses produtos diferenciados daqueles agrotóxicos convencionais, dentro dos Órgãos Federais, comprometendo assim, a agilidade da liberação dos processos.

O imprescindível é lembrar que o registro dos produtos Agrotóxicos e Afins é uma condição obrigatória, porém não suficiente, para toda e qualquer atividade que utilize esses produtos no Brasil. Para usufruir dos direitos adquiridos pelo Certificado de Registro, um titular de registro não deve esquecer de observar todas as eventuais normas legais que regem o setor.

Tabela 2. Estudos Requeridos para a Avaliação Toxicológica, Ecotoxicológica e da Patogenicidade de Produtos Microbiológicos segundo a INC Nº 03/2006. Estudos Requeridos para a Caracterização do Produto.

Propriedades Físico-Químicas		
3. Miscibilidade (T)	PT ou PF	
4. pH (T)	PT ou PF	
5. Densidade (T)	PT ou PF	
6. Estabilidade (T)	PT ou PF	A luz solar, pH 5, 7,9; ar, temperatura, metais e seus íons
Estabilidade durante armazenagem (T)	PT ou PF	Condições para manutenção do produto
8. Viscosidade (T)	PT ou PF	Apenas para líquidos a temperatura ambiente
9. Características corrosivas (T)	PT ou PF	Em relação a materiais de acondicionamento

Legenda: IA = ingrediente ativo; PT = produto técnico; PF = produto formulado; T = teste

Tabela 3. Estudos Requeridos para a Avaliação Toxicológica e da Patogenicidade, divididos em três fases distin-

tas: FASE I

Parâmetros	EE	Produto(s) a ser(em) testado (s)	Observações
1. Toxicidade/patogenicidade oral aguda	R	IA ou PT e PF	
2. Toxicidade/patogenicidade pulmonar aguda	R	IA ou PT e PF	
3. Toxicidade/patogenicidade intravenosa aguda	CR	IA ou PT e PF	Requerido quando o IA for bactéria ou vírus
4. Toxicidade/patogenicidade intraperitoneal	CR	IA ou PT e PF	Requerido quando o IA for fungo ou protozoário
5. Sensibilização dérmica	R	PT e PF	
6. Cultura de células	CR	IA ou PT	Requerido quando o IA for vírus.
7. Toxicidade cutânea aguda	R	IA ou PT e PF	
8. Irritação/infecção ocular primária	R	IA ou PT e PF	
9. Irritação cutânea primária	CR	IA ou PT e PF	Requerido quando o microorganismo for taxonomicamente relacionado com outro sabidamente irritante. Dispensado para pH < 2 ou pH > 11

Legenda: EE = especificação da exigência R = requerido CR = condicionalmente requerido

Tabela 4. Estudos Requeridos para a Avaliação Toxicológica e da Patogenicidade, divididos em três fases distintas: FASE II

Parâmetros	EE	Produto(s) a ser(em) testado (s)	OBSERVAÇÕES
1. Toxicidade oral aguda - DL50	CR	IA ou PT e PF	Requerido quando toxicidade oral, mas não patogenicidade ou infectividade for observada nos estudos agudos da Fase I.
2. Toxicidade inalatória aguda - CL50	CR	IA ou PT e PF	Requerido quando toxicidade pulmonar, mas não patogenicidade ou infectividade for observada nos estudos agudos da Fase I. Requerido quando infectividade e/ou persistência anormal forem observados, na ausência de patogenicidade e/ou toxicidade dos estudos da Fase I; as vias de exposição devem corresponder àquelas em que efeitos adversos foram observados. Também pode ser exigido para avaliar efeitos adversos devido a contaminantes microbianos ou subprodutos tóxicos, independente de qualquer efeito na Fase I.
3. Toxicidade/ patogenicidade subcrônica	CR	IA ou PT	

Legenda: EE = especificação da exigência; CR = condicionalmente requerido; IA= ingrediente ativo; PT = produto técnico; PF = produto formulado.

Tabela 5. Estudos Requeridos para a Avaliação Toxicológica e da Patogenicidade, divididos em três fases

distintas: FASE III

Parâmetros	EE	produto(s) a ser(em) testado (s)	Observações
1. Efeitos sobre reprodução/ fertilidade e teratogenicidade	CR	IA ou PT	Requerido quando quaisquer das situações seguintes forem observadas: inefetividade do agente de controle em animais no estudo subcrônico da Fase II, porém nenhum sinal de patogenicidade ou toxicidade; se o agente de controle for vírus que possa persistir ou replicar mamíferos; o agente microbiológico não é totalmente patogenicidade ou toxicidade; se o conhecido taxonomicamente e é relacionado a organismos parasíticos a células de mamíferos; quando existam indicações de que possam conter contaminantes que são parasitos de animais. Requerido para produtos que contenham ou sejam suspeitos de conter vírus carcinogênicos. Requerido para produtos que contenham ou sejam suspeitos de conter vírus que possam interagir adversamente sobre componentes do sistema imunológico de mamíferos.
2. Carcinogenicidade	CR	IA ou PT	
3. Resposta de imunidade celular	CR	IA ou PT	

Legenda: EE = especificação da exigência; CR = condicionalmente requerido; IA = ingrediente ativo; PT = produto técnico

Tabela 6. Estudos Requeridos para a Avaliação Ecotoxicológica, divididos em três fases distintas: FASE I.

Testes	EE	Produto(s) a ser(em) testado (s)	Observações
1. Oral para aves	R	IA ou PT	
2. Inalatório para aves	CR	IA ou PT	Requerido quando a natureza do agente microbiológico e/ou suas toxinas indicarem patogenicidade potencial p/ aves.
3. Mamíferos silvestres	CR	IA ou PT	
4. Peixes de água doce	R	IA ou PT	
5. Invertebrados de água doce	R	IA ou PT	
6. Animais de estuários e marinhos	CR	IA ou PT	Quando o uso for direto em estuário e ambientes marinhos, ou com expectativa de atingir tais ambientes em concentrações significativas (padrão de uso, mobilidade do agente).
I.7. Plantas não alvo	CR	IA ou PT	
I.8. Insetos não alvo	R	IA ou PT	
I.9. Abelhas	R	IA ou PT	
I.10. Mínhocas	CR	IA ou PT	

Legenda: EE = especificação da exigência; R = requerido; CR = condicionalmente requerido; IA = ingrediente ativo; PT = produto técnico.

Tabela 7. Estudos Requeridos para a Avaliação Ecotoxicológica, divididos em três fases distintas: FASE II.

Testes	EE	Produto(s) a ser(em) testado (s)	Observações
1. Comportamento no ambiente terrestre	CR	IA ou PT	Requerido quando efeitos patogênicos ou tóxicos forem observados nos testes da Fase I com organismos terrestres. Requerido quando efeitos patogênicos forem observados nos testes da Fase I com organismos aquáticos de água doce.
3. Comportamento em ambiente estuarino e marinho	CR	IA ou PT	Requerido quando o produto for para aplicação terrestre ou em água doce, e forem observados efeitos tóxicos ou patogênicos em qualquer dos estudos da Fase I com organismos de estuário e marinhos; ou quando o produto for recomendado para ambientes marinhos ou de estuários, ou forem observados efeitos tóxicos ou patogênicos em qualquer dos seguintes testes da Fase I: oral agudo em aves; inalação com aves; toxicidade/patogenicidade em animais marinhos ou de estuários.

Legenda: EE = especificação da exigência; R = requerido; CR = condicionalmente requerido; IA = ingrediente ativo; PT = produto técnico.

Tabela 8. Estudos Requeridos para a Avaliação Ecotoxicológica, divididos em três fases distintas: FASE III.

Testes	EE	Produto(s) a ser(em) testado (s)	Observações
1. Organismos terrestres e aquáticos	CR	IA ou PT	Requerido quando efeitos tóxicos sobre organismos não-alvo selvagens, terrestres ou aquáticos forem observados em um ou mais testes da Fase I e os resultados da Fase II indicarem exposição de tais organismos ao agente microbiológico.
2. Patogenicidade crônica e reprodução de aves	CR	IA ou PT	Requerido quando efeitos patogênicos forem observados em aves na Fase I; efeitos crônicos carcinogênicos ou teratogênicos forem relatados em testes de avaliação (tóxico - patológica); testes de comportamento no ambiente da Fase II indicarem que a exposição de animais terrestres ao agente de controle for provável.
3. Especificidade a invertebrados aquáticos e Estudos do ciclo biológico de peixes	CR	IA ou PT	Requerido quando o produto for indicado para uso em água ou quando houver possibilidade do mesmo ser transportado local de uso, e quando para a água a partir do patogenicidade ou infectividade for observada nos testes aquáticos da Fase I.
5. Plantas não-alvo	CR	IA ou PT	Se o produto é transportado do local de aplicação pelo solo, ar, água ou por animais, e quando se observar patogenicidade alvo. O grau de sobre plantas não movimentação será determinado pelos testes da Fase II.

Legenda: EE = especificação da exigência; CR = condicionalmente requerido; IA = ingrediente ativo; PT = produto técnico.

Perspectivas de mercado no Brasil

Nos anos recentes a popularidade do biocontrole e de produtos alternativos ou biocompatíveis tem aumentado, não somente entre os agricultores e diferentes segmentos da sociedade brasileira, mas inclusive entre os técnicos das companhias de pesticidas químicos. Associado a isto, o desenvolvimento desses produtos é prioridade em diversas agências de fomento de pesquisa e desenvolvimento, bem como em diversas instituições de pesquisa e ensino e nas empresas de pesticidas. Essa mudança está tendo reflexo no crescimento do mercado anualmente,

fato demonstrado no considerável aumento nas vendas de produtos biológicos em 2018 no Brasil (Mapa, 2019).

Um importante aspecto é que os agricultores estão ávidos por técnicas alternativas para o controle dos problemas fitossanitários, pois acreditam que podem reduzir custos e atender à demanda da sociedade por alimentos livres de pesticidas químicos. Esses novos produtos devem fortemente fazer parte do manejo integrado de pragas, pois seguramente ocorrerá redução de custos da produção de alimentos, fibras e energia, bem como melhorará a qualidade dos alimentos produzidos.

É importante ressaltar que necessitamos aumentar o uso de biopesticidas e produtos biocompatíveis na agricultura brasileira, pois são indispensáveis para o agronegócio. Também necessitamos urgentemente aprimorar a regulamentação e os registros dos biopesticidas e dos produtos biocompatíveis, pois aumentará a vantagem competitiva do país haja vista que o aumento do uso de biopesticidas/produtos biocompatíveis reduz os impactos ambientais dos pesticidas químicos, além de contribuir para o manejo integrado de pragas. Desta forma, é imprescindível o desenvolvimento de novos produtos, com formulações inovadoras visando aumentar a oferta e consequentemente estimular a geração de demanda.

Embora culturalmente sempre se relacione que a agricultura orgânica e o biocontrole ou produtos alternativos ou biocompatíveis caminham juntos e que a agricultura orgânica representa o grande mercado para o controle biológico, no Brasil o maior mercado para os biopesticidas e produtos biocompatíveis é a agricultura convencional.

Desafios para o desenvolvimento de biopesticidas no Brasil

São diversos os desafios para o desenvolvimento de biopesticidas no Brasil e alguns serão comentadas abaixo, não significando que são os mais importantes.

1. Melhorar a forma de abordagem para alterar a cultura do uso de agrotóxicos existentes entre os agricultores, agrônomos, professores, pesquisadores e outros atores e com isso aumentar o entendimento do biocontrole.

2. Realização de pesquisas básicas com os bioagentes, incluindo os impactos ambientais.

Aumentar a disponibilidade de produtos biológicos com novos agentes de biocontrole no mercado. Portanto, é imprescindível realizar o isolamento e a seleção de novos bioagentes, pois atualmente são poucas as espécies comercializadas. Neste sentido, no processo de isolamento e seleção de isolados de *Trichoderma*, seria importante buscar isolados resistentes a alguns dos principais ingredientes ativos utilizados no tratamento de sementes. Também seria importante disponibilizar no mercado isolados de *Trichoderma* resistentes aos principais ingredientes ativos de fungicidas pulverizados nas plantas. Essa característica facilitaria o manejo integrado das doenças de plantas. Além disso, é de extrema importância que as empresas dis-

ponibilizem informações sobre a compatibilidade de suas formulações contendo *Trichoderma* com os principais agrotóxicos utilizados na cultura. Alguns aspectos da compatibilidade de fungicidas com *Trichoderma* são discutidos no capítulo 12.

4. Aumentar o número de laboratórios/empresas que trabalham com a multiplicação de organismos e técnicas de produção para melhorar a qualidade dos produtos obtidos nas empresas, bem como aumentar a disponibilidade de produtos para os agricultores. Os processos produtivos de agentes de biocontrole devem ser mais eficientes, tanto do ponto de vista de eficiência produtiva (concentração e viabilidade do organismo), como do ponto de vista de custo de produção. Em relação ao *Trichoderma*, reconhecidamente há necessidade de processos produtivos mais eficientes. Há necessidade constante de melhorar o processo de multiplicação de *Trichoderma* para se obter a maior produção das estruturas a serem formuladas. Atualmente, a produção de *Trichoderma* ocorre basicamente via fermentação sólida-estática e raramente via fermentação líquida submersa, sendo que as técnicas, bem como as vantagens e desvantagens de cada processo estão descritas no capítulo 8. Um dos aspectos importantes a ser considerado é o tipo de estrutura reprodutiva de *Trichoderma* que se deseja produzir. Por exemplo, para determinados uso seria mais importante a produção de clamidósporos e microscleródios do que de conídios, haja vista a maior resistência aos estresses desta estrutura.

5. Alterar a relação entre as empresas e as instituições de pesquisa e ensino para o desenvolvimento de projetos conjuntos, combinando os conhecimentos da indústria em relação ao mercado e os básicos em microbiologia, entomologia e agronomia das instituições de pesquisa.

6. Controle de qualidade dos produtos comercializados. O controle de qualidade é uma etapa imprescindível durante todo o processo produtivo. Atualmente, para *Trichoderma*, existem diversas metodologias para serem utilizadas, conforme descritas no capítulo 9. Entretanto, existe a necessidade de buscar novas possibilidades, como o desenvolvimento de métodos mais rápidos para a quantificação e também na avaliação de viabilidade das estruturas reprodutivas dos microrganismos, como por exemplo o uso de laser para esta finalidade. Também necessita avaliar o vigor das estruturas no controle dos patógenos até o final do prazo de validade do produto, não apenas estar viável.

7. Desenvolvimento de formulações adequadas para a manutenção da viabilidade do princípio ativo visando a proteção das estruturas, a persistência e a eficácia em campo, bem como vida de prateleira superior a um ano. Além disso, as formulações necessitam apresentar maior concentração possível de estruturas de *Trichoderma* visando a redução de custos com a logística e facilidade de aplicação no campo. As formulações necessitam ainda manter o vigor da estrutura utilizada de *Trichoderma*. Nos capítulos 8 e 10 são discutidos diversos aspectos sobre a multiplicação e processos de formulação de *Trichoderma*. Além do desenvolvimento de formulações com estruturas de *Trichoderma*, também há necessidade de desenvolver formu-

lações contendo *Trichoderma* em mistura com outros bioagentes. Esta é uma forma de atingir alvos diferentes ou mesmo permitir que diferentes mecanismos de ação atuem simultaneamente sobre o mesmo alvo. Essa mistura pode levar ao aumento da eficiência de um produto biológico no controle de doenças. Ação de sinergismo, como por exemplo *Trichoderma* com *Clonostachys*. Outra possibilidade é a mistura entre agente de controle biológico de doenças com agente de controle biológico de pragas, por exemplo, formulações contendo a mistura de *Trichoderma* com *Metarhizium* ou *Trichoderma* com *Beauveria*.

8. Ajustar a produção em escala e a logística de distribuição e transporte.

9. Treinamento para uso e integração dos biopesticidas dentro dos sistemas de cultivo. A recomendação técnica deve ser direcionada para cada sistema produtivo/cultivo avaliando também o histórico da área. As culturas, as doenças e as interações que ocorreram ao longo dos anos, deverão ser analisadas de um ponto de vista mais amplo. O momento da aplicação, as condições climáticas durante a aplicação, a modalidade de aplicação, o equipamento e a compatibilidade entre os produtos a serem utilizados. Todo este entendimento, resultará no manejo integrado do agroecossistema. Precisa também melhorar o conhecimento da estrutura e do funcionamento do agroecossistema. A recomendação técnica para o controle biológico é fundamental e difere da recomendação para produtos químicos, pois envolve também um conceito mais amplo do que é controle biológico, haja vista que mais um componente vivo fará parte do sistema. O índice de controle envolvido no controle biológico é diverso do controle químico. Em muitas situações um controle abaixo do padrão químico não representa ineficácia do produto, mas sim o potencial de controle do bioagente. Assim, é fundamental utilizar todas as técnicas de manejo para que a doença não atinja o limiar de dano econômico. Desta forma, a demanda de pesquisa para determinar o momento de aplicação é fundamental para o sucesso da técnica. Também é necessário entender as diferenças do conceito de eficiência biológica e eficiência agrônômica. Somente este fato pode levar, muitas vezes, a interpretação equivocada. Além disso, no manejo integrado o controle biológico sempre exige um período mais amplo para se verificar a eficiência do agente.

10. Política pública apropriada para biocontrole, por meio de incentivos fiscais e créditos.

11. Regulamentação para pesquisa, desenvolvimento e registro de biopesticidas.

12. Tecnologia de aplicação e liberação

Considerações finais

Trichoderma é mais do que um agente de controle biológico de doenças. Tem diversas outras finalidades, como a produção de enzimas para as indústrias. Além disso, pode colaborar com a agricultura em diversos aspectos fundamentais, como aumentar a eficiência no uso de nitrogênio, promover o desenvolvimento das plantas, bem como a produtividade e aliviar os impactos dos estresses salinos. Esses três aspectos serão discutidos nos próximos três parágrafos.

O primeiro aspecto é em relação ao nitrogênio. O nitrogênio é um dos nutrientes essenciais para as plantas e sua carência é um fator limitante para o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade das culturas. Entretanto, a maior fração do nitrogênio do solo está presente na forma orgânica, presente na matéria orgânica ou como parte de organismos vivos, a qual não é prontamente disponível para as plantas (Cantarella, 2007). Nos últimos 40 anos, a produção de cereais triplicou. Por outro lado, a quantidade de nitrogênio sintético aplicado às lavouras para aumentar sua produtividade subiu de 12.000.000 ton/ano para 104.000.000 ton/ano (Mulvaney et al., 2009), sendo que entre 30% a 50% são absorvidos pela planta em desenvolvimento e o restante é perdido, o que tem um impacto muito negativo sobre o meio ambiente (Rockström et al., 2009). Além disso, os fertilizantes nitrogenados são produzidos principalmente a partir de combustíveis fósseis, não renováveis (Cantarella, 2007). Diversos estudos demonstraram que plantas tratadas com *Trichoderma*, além de ter o controle de doenças, apresentaram maiores rendimentos do que as plantas não tratadas (Harman, 2000; Harman, 2011; Harman et al., 2010; Shoresh et al., 2010; Rubio et al., 2014; 2017). Embora estudos sobre o papel de *Trichoderma* na assimilação de nitrogênio simbiótico, como um componente importante de tais respostas benéficas, ainda sejam escassos, Harman (2000) relatou que *Trichoderma harzianum* favoreceu a absorção de nitrogênio em testes de campo de milho. Assim, uma das possíveis indicações de uso de *Trichoderma*, e, portanto, um novo mercado para esse bioagente seria o seu uso visando o uso eficiente de nitrogênio.

O segundo aspecto a ser discutido é o potencial de *Trichoderma* na promoção de crescimento e de produtividade das plantas. O uso de *Trichoderma* em relação à promoção de crescimento das plantas, mecanismo discutido no capítulo 4, é de grande importância. Harman (2011) relata aumento médio de produtividade de milho em cerca de 820 kg/ha com o tratamento de sementes com *Trichoderma*. O efeito na promoção de crescimento de plantas mediado por *Trichoderma* está discutido ao longo do livro. Como por exemplo, foi relatado que o tratamento de sementes de arroz, trigo e tomate com *T. harzianum* aumenta sua taxa fotossintética, o peso das plantas, o comprimento de suas raízes e brotos e o número de folhas e área foliar (Rawat et al., 2011; Domínguez et al., 2016). No mercado mundial são diversos os produtos formulados à base de *Trichoderma* que são registrados como promotores de cresci-

mento. Diversos destes produtos estão relatados no capítulo 2. Essa promoção de crescimento será fundamental para o aumento da disponibilidade de alimentos, inclusive considerando que a melhoria nos rendimentos das culturas ajudará a reduzir os custos ambientais.

O terceiro aspecto a ser considerado é o potencial de *Trichoderma* em aliviar o estresse salino. É amplamente reconhecido que espécies de *Trichoderma* protegem plantas contra patógenos por competição, micoparasitismo e antibiose (Lorito et al., 2010; Druzhinina et al., 2011) e promovem o crescimento das plantas e induzem defesas contra estresses bióticos e abióticos (Shoresh et al., 2010; Hermosa et al., 2012). Também tem sido relatado que *Trichoderma* spp. são eficazes em aliviar os efeitos adversos que o estresse salino tem sobre as plantas (Mastouri et al., 2010; Rubio et al., 2014). Em um estudo onde foram avaliados parâmetros fisiológicos e as alterações de expressão de genes ligados a estresses abióticos para investigar as respostas de plantas de tomate adubadas e não adubadas com fertilizantes minerais e submetidas ou não a estresse salino, Rubio et al. (2017) relataram que *Trichoderma harzianum* T34, na ausência de fertilização mineral, promoveu o crescimento de plantas de tomate, independentemente do estresse salino. Entretanto, os mesmos autores verificaram que a combinação de adubação mineral e biológica (com *Trichoderma*) aumentou a sensibilidade das plantas de tomate ao estresse salino e previne respostas adaptativas. Esses resultados indicam o potencial do bioagente em mediar o estresse salino, mas também indica que pode ocorrer problemas em plantas super estimuladas.

Trichoderma continuará sendo utilizado, principalmente, como agente de controle biológico, mas apresenta um potencial considerável para aumentar a eficiência no uso de nitrogênio, promover o desenvolvimento das plantas, bem como a produtividade e aliviar os impactos dos estresses salinos. Para que o organismo desempenhe esses novos papéis, bem como continue como o principal bioagente fúngico de controle biológico de doenças de plantas será fundamental a seleção de novas espécies e melhorar todo o sistema de multiplicação e formulação.

Referências

AGROFIT: consulta aberta. Brasília, DF: Mapa, c2003. Disponível em: < http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons>. Acesso em: mar. 2019.

ANVISA - AGENCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (Brasil). Resolução RDC nº 294, de 29 de julho de 2019. Dispõe sobre critérios de avaliação e classificação toxicológica, priorização da análise e comparação da ação toxicológica de agrotóxicos, componentes e afins e preservativos de madeira e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, 31 set. 2019b, v. 146, Seção 1, p. 78.

ANVISA - AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (Brasil). Resolução - RDC nº 195, de 8 de julho de 2002. Regulamentação de Produtos Semoquímicos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 11 jul. 2002, Seção 1, p. 229-230.

ANVISA - AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (Brasil). Resolução RDC nº 296, de 29 de julho de 2019. Adota as diretrizes de rotulagem do Sistema Globalmente Harmonizado de Classificação e Rotulagem de Produtos Químicos, GHS. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 31 jul. 2019a, v. 146, Seção 1, p. 88-89.

BETTIOL, W. Biopesticide use and research in Brazil. **Outlooks on Pest Management**, v. 22, n. 6, p. 280-284, 2011.

BETTIOL, W.; MAFFIA, L. A.; CASTRO, M. L. M. P. Control biológico de enfermedades de plantas en Brasil. In: BETTIOL, W.; RIVERA, M. C.; MONDINO, P.; MONTEALEGRE, J. R.; COLMENÁREZ, Y. C. **Control biológico de enfermedades de plantas en América Latina y el Caribe**. [Montevideu]: Facultad de Agronomía, Universidad de la Republica, 2014., p. 91-137, 2014, p. 91-137.

BRASIL. Decreto nº 24.114, de 12 de abril de 1934. Aprova o Regulamento de Defesa Sanitária Vegetal. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 31 dez. 1934, Seção 1, p. 555.

BRASIL. Decreto nº 4.074, de 4 de janeiro de 2002. Regulamenta a Lei nº 7.802. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 8 jan. 2002, Seção 1, p. 1-12.

BRASIL. Decreto nº 6.323, de 27 de dezembro de 2007. Dispõe sobre agricultura orgânica. **Diário Oficial da União**, Brasília, 28 dez. 2007, Seção 1, p. 2.

BRASIL. Decreto nº 6.913, de 23 de julho de 2009. **Diário Oficial da União**, Brasília, 24 jul. 2009, Seção 1, p. 8.

BRASIL. Lei nº 10.831, de 23 de dezembro de 2003. Dispõe sobre a agricultura orgânica. **Diário Oficial da União**, Brasília, 24 dez. 2003, Seção 1, p. 8-9.

BRASIL. Lei nº 7.802, de 12 de julho de 1989. Dispõe sobre agrotóxicos, seus componentes e afins. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 12 jul. 1989, Seção 1, p. 11459-11460.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Ato CGAL/SDA/Mapa nº 6, de 23 de janeiro de 2014. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 31 jan. 2014, Seção 1.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Ato CGAL/SDA/Mapa nº 105, de 28 de dezembro de 2018. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 31 dez. 2018c, Seção 1, pág. 11.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa Conjunta nº 25, de 14 de setembro de 2005. Regulamenta o Registro Especial Temporário. **Diário Oficial da União**, Brasília, 15 set. 2005a, Seção 1, p. 4-6.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa Conjunta nº 32, de 26 de outubro de 2005. Estabelece procedimentos a serem adotados para efeito de registro de produtos bioquímicos. **Diário Oficial da União**, Brasília, 03 nov. 2005a, Seção 1, p. 3.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa Conjunta nº 1, de 23 de janeiro de 2006. Estabelece procedimentos a serem adotados para efeito de registro de produtos semioquímicos. **Diário Oficial da União**, Brasília, 26 jan. 2006a, Seção 1, p. 7-8.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa Conjunta nº 3, de 10 de março de 2006. Estabelece normas específicas para fins de registro de produtos microbiológicos que se caracterizem como produtos técnicos, agrotóxicos e afins. **Diário Oficial da União**, Brasília, 15 mar. 2006b, Seção 1, p. 23-25.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa Conjunta nº 2, de 23 de janeiro de 2006. Estabelece procedimentos a serem adotados para efeito de registro de Agentes Biológicos de Controle. **Diário Oficial da União**, Brasília, 26 jan. 2006c, Seção 1, p. 8.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa Conjunta SDA/SDC nº 2, de 12 de julho de 2013. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 15 jul. 2013, Seção 1, p. 6-8.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa Conjunta SDA/SDC nº 1, de 06 de fevereiro de 2015. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 10 fev. 2015a, Seção 1, p. 2-3.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa Conjunta SDA/SDC nº 1, de 28 de novembro de 2017. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 01 dez. 2017, Seção 1, p. 31-33.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa Conjunta SDA/SDC nº 1, de 16 de abril de 2018. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 18 abr. 2018a, Seção 1, p. 10-11.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa Conjunta SDA/SDC nº 2, de 29 de agosto de 2018. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 03 de set. de 2018b, Seção 1, p. 27 -31.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa Conjunta SDA/SDC nº 1, de 06 de novembro de 2015. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 20 nov. 2015b, Seção 1, p. 36-39.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Mercado de bio defensivos cresce mais de 70% no Brasil em um ano**. [2019]. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/noticias/feffmercado-de-bio-defensivos-cresce-em-mais-de-50-no-brasil>>. Acesso em: 24 abr. 2019.

BRASIL. Secretaria Nacional de Vigilância Sanitária. Portaria nº 03, de 16 de janeiro de 1992. Diretrizes e exigências referentes à autorização de registros, renovação de registro e extensão de uso de produtos agrotóxicos e afins. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 4 fev. 1992.

CANTARELA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p. 375-470.

CASTRO, M. L. M. P.; OLIVEIRA-FILHO, E. C. Avaliação ambiental de produtos biológicos. In: OLIVEIRA-FILHO, E. C.; MONERAT, R. G. (Eds.). **Fundamentos para a regulação de semioquímicos, inimigos naturais e agentes microbiológicos de controle de pragas**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2006. p. 343-352.

COOK, R. J.; BAKER, K. F. **The nature and practice of biological control of plant pathogens**. St Paul: APS, 1983. 539 p.

DOMÍNGUEZ, S.; RUBIO, M. R.; CARDOZA, R. E.; GUTIÉRREZ, S.; NICOLÁS, C.; BETTIOL, W. Nitrogen metabolism and growth enhancement in tomato plants challenged with *Trichoderma harzianum* expressing the *Aspergillus nidulans* acetamidase amdS gene. **Frontiers in Microbiology**, v. 7, p. 1182, 2016.

DRUZHININA, I. S.; SEIDL-SEIBOTH, V.; HERRERA-ESTRELLA, A.; HORWITZ, B. A.; KENERLEY, C. M.; MONTE, E. *Trichoderma*: the genomics of opportunistic success. **Nature Reviews. Microbiology**, v. 9, p. 749-759, 2011.

HARMAN, G. E. Myths and dogmas of biocontrol: changes in perceptions derived from research on *Trichoderma harzianum* T-22. **Plant Disease**, v. 84, p. 377-393, 2000.

HARMAN, G. E. *Trichoderma*: not just for biocontrol anymore. **Phytoparasitica**, v. 39, p. 103-108, 2011.

HARMAN, G. E.; OBREGON, M. A.; SAMUELS, G. J.; AND LORITO, M. Changing models for commercialization and implementation of biocontrol in the developed and developing world. **Plant Disease**, v. 94, p. 928-939, 2010.

HERMOSA, R.; VITERBO, A.; CHET, I.; MONTE, E. Plant-beneficial effects of *Trichoderma* and of its genes. **Microbiology**, v. 158, p. 17-25, 2012.

IBAMA. Portaria Normativa nº 131, de 03 de novembro de 1997. Estabelece os critérios a serem adotados. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 4 nov. 1997, Seção 1, p. 24988-24991.

LORITO, M.; WOO, S. L.; HARMAN, G. E.; MONTE, E. Translational research on *Trichoderma*: from 'omics to the field. **Annual Review of Phytopathology**, v. 48, p. 395-417, 2010.

MARKETS AND MARKETS. **Biopesticides market by type, source, mode of application, formulation, crop application and region: global forecast to 2023**. Charing: REPORT BUYER, 2019. Disponível em: <<https://www.reportbuyer.com/product/4364825>>. Acesso em: 7 mar. 2019.

MASTOURI, F.; BJÖRKMANN, T.; HARMAN, G. E. Seed treatment with *Trichoderma harzianum* alleviates biotic, abiotic, and physiological stresses in germinating seeds and seedlings. **Phytopathology**, v. 100, p. 1213-1221, 2010.

MULVANEY, R. L.; KHAN, S. A.; ELLSWORTH, T. R. Synthetic nitrogen fertilizers deplete soil nitrogen: a global dilemma for sustainable cereal production. **Journal Of Environmental Quality**, v. 38, p. 2295-2314, 2009.

RANGEL, L. E. P. Eficiência e praticabilidade de produtos biológicos. In: OLIVEIRA-FILHO, E. C.; MONERAT, R. G. (Eds.). **Fundamentos para a regulação de semioquímicos, inimigos naturais e agentes microbiológicos de controle de pragas**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2006. p. 313-323.

RAWAT, L.; SINGH, Y.; SHUKLA, N.; KUMAR, J. Alleviation of the adverse effects of salinity stress in wheat (*Triticum aestivum* L.) by seed biopriming with salinity tolerant isolates of *Trichoderma harzianum*. **Plant and Soil**, v. 347, p. 387-400, 2011.

ROCKSTRÖM, J.; STEFFEN, W.; NOONE, K.; PERSSON, A.; CHAPIN, F. S.; LAMBIN, E. F.; LENTON, T. M.; SCHEFFER, M.; FOLKE, C.; SCHELLNHUBER, H. J.; NYKVIST, B.; DE WIT, C. A.; HUGHES, T.; VAN DER LEEUW, S.; RODHE, H.; SÖRLIN, S.; SNYDER, P. K.; COSTANZA, R.; SVEDIN, U.; FALKENMARK, M.; KALBERG, L.; CORRELL, R. W.; FABRY, V. J.; HANSEN, J.; WALKER, B.; LIVERMAN, D.; RICHARDSON, K.; CRUTZEN, P.; FOLEY, J. A. A safe operating space for humanity. **Nature**, v. 461, p. 472-475, 2009.

RUBIO, M. B.; HERMOSA, R.; VICENTE, R.; GÓMEZ-ACOSTA, F. A.; MORCUENDE, R.; MONTE, E.; BETTIOL, W. The Combination of *Trichoderma harzianum* and Chemical Fertilization Leads to the Deregulation of Phytohormone Networking, Preventing the Adaptive Responses of Tomato Plants to Salt Stress. **Frontiers In Plant Science**, v. 8, p. 294, 2017.

RUBIO, M. B.; QUIJADA, N. M.; PÉREZ, E.; DOMÍNGUEZ, S.; MONTE, E.; HERMOSA, R. Identifying beneficial qualities of *Trichoderma pararesei* for plants. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 80, p. 1864-1873, 2014.

SHORESH, M.; HARMAN, G. E.; MASTOURI, F. Induced systemic resistance and plant responses to fungal biocontrol agents. **Annual Review of Phytopathology**, v. 48, p. 21-43, 2010.