

FUNGOS ENTOMOPATOGÊNICOS

Pedro Manuel Oliveira Janeiro Neves
Patricia Helena Santoro

Os fungos entomopatogênicos, descobertos por Agostino Bassi por volta de 1830, representam importante ferramenta para o controle de pragas, em particular no atual contexto do manejo integrado. Esse grupo de organismos ganha relevância quando inserido em estratégias de controle biológico devido à capacidade de supressão de populações de artrópodes, ao amplo espectro de hospedeiros e às possibilidades de cultivo *in vitro* e também de formulação. Doze espécies de fungos têm sido utilizadas em aplicações inundativas e inoculativas, com destaque para *Beauveria bassiana* e *Metarhizium anisopliae*, que juntos representam 65% do total comercializado em escala mundial e também no Brasil. Apesar do grande potencial patogênico dos fungos, fatores como a ação mais lenta, a dependência de variáveis ambientais e a incompatibilidade com agrotóxicos, entre outros, acabam por impor limitações à expansão do seu uso.

A teoria microbiana das doenças teve início com a descoberta dos fungos entomopatogênicos na década de 1830, quando Agostino Bassi demonstrou, pela primeira vez, que um microrganismo era capaz de causar doença, e que esta podia ser transmitida de um indivíduo doente para outro sadio. Tratava-se da “muscardina”, doença causada pelo fungo *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill., que dizimava as populações de bichos-da-seda em toda a Europa.¹ Apesar da descoberta de Bassi, apenas no final da década de 1870 é que o pesquisador russo Elie Metschnikoff realizou o primeiro trabalho de controle microbiano, utilizando o fungo *Metarhizium anisopliae* (Metsch) para o controle de *Anisoplia austriaca* (Herbst) (Coleoptera: Scarabeidae).²

Atualmente, a utilização do controle biológico e as práticas culturais adequadas para promovê-lo formam a base do manejo integrado de pragas (MIP), que pode ser complementado com o uso racional de inseticidas químicos e outras formas de controle.³ No controle biológico, os fungos são organismos bastante eficazes devido à capacidade de supressão de populações de artrópodes, ao amplo espectro de hospedeiros, bem como à possibilidade de serem cultivados *in vitro* e de serem formulados.⁴ A ocorrência desses patógenos é relativamente comum, sendo importantes agentes de controle em condições naturais.⁵ Uma de suas principais vantagens é a ampla variabilidade genética intra e interespecífica, o que possibilita selecionar isolados altamente virulentos para um vasto espectro de hospedeiros e que sejam mais adaptados às diferentes condições ambientais.

Cerca de 12 espécies de fungos têm sido utilizadas em aplicações inundativas e inoculativas, das quais *M. anisopliae* (figura 1) e *B. bassiana* (figura 2) são as mais comuns, pois representam juntas mais de 65% do total comercializado⁶, fato que provavelmente se deve à ampla distribuição geográfica, vasta gama de hospedeiros e alta variabilidade genética destas espécies.⁷ No Brasil, elas também são as mais utilizadas para o controle de pragas como as cigarrinhas-da-cana-de-açúcar, *Mahanarva posticata* e *M. fibriolata*; cigarrinhas-da-pastagem pertencentes aos gêneros *Mahanarva*, *Deois* e *Zulia*; cupim de montículo, do gênero *Cornitermes*, em pastagem; gafanhotos *Schistocerca pallens*, *Stiphra robusta*, *Rhammatocerus schistocercoides*; moleque-dabananeira, *Cosmopolites sordidus*; percevejo-de-renda em seringueira, *Leptopharsa haveae*; broca-do-café, *Hypothenemus hampei* e pragas em cultivos protegidos como *Tetranychus urticae*, *Frankliniella occidentalis* e *Bemisia tabaci*.⁸

¹ FERREIRA, R. R. & MARTINS, R. A. Primórdios da moderna teoria dos germes: Agostinho Bassi e a doença dos bichos-da-seda. *Episteme: Filosofia e História das Ciências em Revista*, Porto Alegre, v. 3, p. 55-71, 1997.

² ALVES, S. B. Patologia e controle microbiano: vantagens e desvantagens. In: ALVES, S. B. (Ed.). *Controle Microbiano de Insetos*. Piracicaba: FEALQ, 1998. p. 21-38.

³ PEREIRA, O. M.; ALVES, S. B.; SOSA-GOMES, D. R. & MACEDO, N. Utilização de entomopatógenos no Manejo Integrado de Pragas. In: ALVES, S. B. (Ed.). *Controle Microbiano de Insetos*. Op. cit. p. 1.096-1.118.

⁴ LEITE, L. G.; BATISTA FILHO, A.; ALMEIDA, J. E. M. & ALVES, S. B. *Produção de fungos entomopatogênicos*. Ribeirão Preto, 2003. 92 p.

⁵ BUTT, T. M.; JACKSON, C. & MAGN, N. *Fungi as biocontrol agents: progress, problems and potencial*. New York: CAB, 2001. 390 p.

⁶ FARIA, M. R. & WRAIGHT, S. P. Mycoinsecticides and Mycoacaricides: A comprehensive list with worldwide coverage and international classification of formulation types. *Biological Control*, Orlando, v. 43, p. 237-256, 2007.

⁷ ALVES, S. B. Fungos entomopatogênicos. In: ALVES, S. B. (Ed.). *Controle Microbiano de Insetos*. Op. cit. p. 289-382.

⁸ ALVES, S. B.; LOPES, R. B.; VIEIRA, S. A. & TAMAI, M. A. Fungos entomopatogênicos usados no controle de pragas na América Latina. In: ALVES, S. B. & LOPES, R. B. (Eds.). *Controle Microbiano de Pragas na América Latina*. Piracicaba: FEALQ, 2008. p. 69-110.



Figura 1: *Metarhizium anisopliae* infectando *Coraliomela brunnea* (Coleoptera: Chrysomelidae), falsa-barata-do-coqueiro (à direita, larva sadia; à esquerda, larva infectada)



Figura 2: *Beauveria bassiana* infectando *Hedypathes betulinus* (Coleoptera: Cerambycidae), broca da erva-mate

Os fungos podem infectar diferentes estágios de desenvolvimento dos insetos, como ovos, larvas, pupas e adultos. A maioria é altamente especializada na penetração via tegumento (figura 3), o que os coloca em vantagem com relação a outros patógenos que infectam o inseto por via oral, como por exemplo, os vírus e as bactérias. O ciclo das relações fungo-hospedeiro apresenta as seguintes fases: adesão dos conídios sobre o corpo do inseto, germinação, formação dos apressórios, penetração, colonização, reprodução do patógeno e disseminação, para o início de um novo ciclo.⁹

⁹ ALVES, S. B. Fungos entomopatogênicos... *Op. cit.*



Figura 3: Conídios de *Beauveria bassiana* sobre garra tarsal de *Alphitobius diaperinus* (Coleoptera: Tenebrionidae), cascudinho dos aviários

Apesar das vantagens, alguns fatores têm limitado o aumento do uso de fungos no controle microbiano em várias culturas. Um dos problemas para sua aceitação está relacionado à sua ação mais lenta quando comparada à dos inseticidas químicos. Além disso, é necessário que haja condições ambientais favoráveis de temperatura, umidade e luminosidade para que sejam eficientes, pois a atividade fúngica é fortemente influenciada por esses fatores.¹⁰ Observa-se que os fungos apresentam bom desempenho no controle de insetos em laboratório, mas a maioria torna-se menos eficaz em condições de campo.¹¹ Isso se deve à ação de fatores climáticos, de microrganismos competidores ou antagonistas e da incompatibilidade com agrotóxicos e outros insumos agrícolas, utilizados principalmente no manejo fitossanitário. Assim, todos esses fatores devem ser considerados e, quando possível, manipulados de modo a proporcionar a conservação do patógeno na área, favorecer a ocorrência natural de epizootias e aumentar a eficiência dos fungos aplicados.

A estratégia de conservação dos agentes de controle biológico, também conhecida como controle conservativo,

¹⁰ PELL, J. K.; EILENBERG, J.; HAJEK, A. E. & STEINKRAUS, D. C. Biology, ecology and pest management potential of Entomophthorales. In: BUTT, T. M.; JACKSON, C. & MAGAN, N. (Ed.). *Fungi as biocontrol agents: progress, problems and potential*. Wallingford: CAB International, 2001. p. 71-153.

¹¹ BUTT, T. M. & COPPING, L. G. Fungal biological control agents. *Pesticide outlook*, v. 11, p. 186-191, 2000.

deve ser considerada uma das mais importantes no MIP, pois afeta diretamente a introdução inoculativa, a inundativa e o controle microbiano por incremento. Esta estratégia, baseada em estudos ecológicos e epizootiológicos, é muito importante para os patógenos que se caracterizam por causar epizootias, dentre os quais se destacam os fungos. O controle biológico conservativo visa à preservação do inóculo no ambiente, contribuindo para a formação de focos primários da doença, que podem desencadear epizootias e/ou evitar a ressurgência ou surtos de pragas.

A manipulação do ambiente pode favorecer a conservação dos patógenos e, conseqüentemente, diminuir as populações das pragas sem a necessidade de aplicações de unidades infectivas, contribuindo para a prevalência da doença no agroecossistema. As práticas culturais disponíveis e usualmente empregadas devem ser alteradas de modo a aumentar a atividade do entomopatógeno. Como exemplo, é possível atrasar ou antecipar uma prática cultural que pode ser deletéria para a população do entomopatógeno, de modo que esta não coincida com sua aplicação. Contudo, a melhor conservação dos fungos entomopatogênicos depende da integração de várias táticas, pois quando aplicadas de forma isolada são pouco representativas, uma vez que os fungos podem ser afetados positiva ou negativamente pela ação simultânea e interativa de vários fatores bióticos e abióticos.

A fase mais crítica da sobrevivência dos fungos corresponde ao momento em que os propágulos infectivos, esporos e conídios, ficam expostos às condições adversas do meio ambiente. Isso ocorre no período entre a aplicação, seja ela inundativa, inoculativa ou por incremento, e a infecção do hospedeiro, e também após a multiplicação do fungo sobre o corpo do inseto e sua disseminação antes de atingir um novo hospedeiro. No processo de infecção de um inseto por um fungo, o crescimento do microrganismo sobre o cadáver do hospedeiro pode resultar na produção de um número significativo de conídios, entretanto, uma proporção mínima vai infectar outros insetos.¹² Assim, a preservação das estruturas infectivas, quer sejam aplicadas ou se desenvolvam em insetos mortos pelo fungo, é o principal foco do controle microbiano conservativo dentro do MIP e pode ser melhor entendida com estudos epizootiológicos aplicados. O aumento da ocorrência de epizootias, por sua vez, está relacionado aos fatores que governam a dinâmica da doença dentro da população de insetos, e são influenciados pelas condições do agroecossistema.

¹² DAZOLTO, P. R. & UHRY, K. F. Controle biológico de pragas no Brasil por meio de *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. *Biológico*, São Paulo, v. 71, p. 37-41, 2009. (Divulgação Técnica).

Para promover a conservação dos fungos e criar condições favoráveis para a ocorrência de epizootias, há necessidade de se conhecer a ação de diversos fatores bióticos e abióticos sobre o patógeno e o processo de desenvolvimento da doença. Entre os fatores bióticos mais relevantes estão os diferentes estágios de desenvolvimento do entomopatógeno, a fenologia da cultura, a biologia e comportamento do inseto e a ação de outros microrganismos. Já entre os fatores abióticos, são considerados de extrema importância a temperatura, a umidade relativa, a radiação ultravioleta e os produtos fitossanitários. Além destes, todas as práticas culturais utilizadas e os demais componentes do sistema agrícola podem afetar, de forma direta ou indireta, a eficiência do patógeno.

A temperatura pode agir sobre o metabolismo, a produção de enzimas e toxinas, a germinação, a penetração, a colonização e a reprodução dos fungos entomopatogênicos.¹³ A radiação ultravioleta (UV) pode causar danos às macromoléculas celulares, como o DNA, às proteínas, às biomembranas, ao RNA e aos ribossomos, caracterizando-se como um dos fatores mais importantes na desativação dos patógenos.¹⁴ As temperaturas elevadas associadas à radiação UV contribuem para falhas na eficiência do controle biológico com fungos.¹⁵ Mesmo proporcionando condições que protejam os fungos da radiação UV, em condições de temperaturas amenas, a ocorrência de epizootias está, de maneira geral, relacionada com altas umidades relativas (70 a 100%), das quais são dependentes o processo de germinação e principalmente de formação dos conídios sobre os cadáveres para a formação de novo inóculo.¹⁶

Para a utilização dos fungos entomopatogênicos no MIP é importante que se faça, inicialmente, um processo de seleção de isolados, quando são escolhidos os que apresentem maior virulência à espécie de inseto-alvo. Deste modo, a quantidade de conídios necessária para matar o hospedeiro será menor, o que implica menor potencial de inóculo necessário para causar uma epizootia. Outra característica importante é a capacidade de produção de conídios sobre os insetos mortos pelo fungo. Quanto maior a quantidade de conídios produzidos, maior será a chance de que estes infectem outros insetos.

A variabilidade genética dos fungos permite a seleção de isolados que sejam mais tolerantes às diferentes condições ambientais, principalmente aquelas que podem comprometer a eficiência de controle. Este tipo de seleção minimiza os danos causados ao patógeno, favorece sua conser-

¹³ ALVES, S. B. & LECUONA, R. E. Epizootiologia aplicada ao controle microbiano de insetos. In: ALVES, S. B. (Ed.). *Controle Microbiano de Insetos*. Op. cit. p. 97-170.

¹⁴ ENGELBERG, D.; KLEIN, C.; MARTINETTO, H.; STRUHL, K. & KARIN, M. The UV response involving the Ras signaling pathway and AP-1 transcription factors is conserved between yeast and mammals. *Cell*, Cambridge, v. 77, p. 381-390, 1994.

¹⁵ RANGEL, D. E. N.; BRAGA, G. U. L.; ANDERSON, A. J. & ROBERTS, D. W. Variability in conidial thermotolerance of *Metarhizium anisopliae* isolates from different geographic origins. *Journal of Invertebrate Pathology*, San Diego, v. 88, p. 116-125, 2005.

¹⁶ ALVES, S. B. & LECUONA, R. E. Epizootiologia aplicada ao controle... Op. cit.

- ¹⁷ BIDOCHKA, M. J.; KAMP, A. M.; LAVENDER, T. M.; DEKONING, J. & De CROSS, J. N. A. Habitat association in two genetic groups of the insect-pathogenic fungus *Metarhizium anisopliae*: uncovering cryptic species? *Applied and Environmental Microbiology*, Washington, v. 67, p. 1.335-1.342, 2001.
- ¹⁸ RANGEL, D. E. N.; BRAGA, G. U. L.; ANDERSON, A. J. & ROBERTS, D. W. Variability in conidial thermotolerance of *Metarhizium anisopliae* isolates from different geographic origins. *Journal of Invertebrate Pathology*, San Diego, v. 88, p. 116-125, 2005.
- ¹⁹ FARGUES, J.; GOETTEL, M. S.; SMITS, N.; OUEDRAGO, A. & ROUGIER, M. Effect of temperature on vegetative growth of *Beauveria bassiana* isolates from different origins. *Mycologia*, New York, v. 89, p. 383-392, 1997.
- ²⁰ FERNANDES, E. K. K.; RANGEL, D. E. N.; MORAES, A. M. L.; BITTENCOURT, V. R. E. P. & ROBERT, D. W. Variability in tolerance to UV-B radiation among *Beauveria* spp. isolates. *Journal of Invertebrate Pathology*, San Diego, v. 96, p. 237-243, 2007.
- LELAND, J. E.; MCGUIRE, M. R.; GRACE, J. A.; JARONSKI, S. T.; ULLOA, M.; PARK, Y. & PLATTNER, R. D. Strain selection of a fungal entomopathogen, *Beauveria bassiana*, for control of plant bugs (*Lygus* spp.) (Heteroptera: Miridae). *Biological Control*, Orlando, v. 35, p. 104-114, 2005.
- ²¹ BRAGA, G. U. L.; FLINT, S. D.; MILLER, C. D.; ANDERSON, A. J. & ROBERTS, D. W. Variability in response to UV-B among species and strains of *Metarhizium* isolated from sites at latitudes from 61°N to 54°S. *Journal of Invertebrate Pathology*, San Diego, v. 78, p. 98-108, 2001.

vação no ambiente e aumenta as chances de sucesso no controle de pragas. Um exemplo de tal variabilidade foi observado para isolados de *M. anisopliae*: os coletados em áreas agrícolas mostraram-se mais tolerantes à exposição ao calor e à radiação ultravioleta, quando comparados aos coletados em regiões de floresta em latitudes semelhantes.¹⁷ Ainda para isolados desta mesma espécie, verificou-se que aqueles obtidos de maiores latitudes demonstraram maior sensibilidade ao calor do que os obtidos próximos ao equador.¹⁸ De maneira geral, os fungos entomopatogênicos também apresentam ampla variação na tolerância ao calor, o que lhes proporciona notável adaptação às condições de grande flutuação térmica.¹⁹

Em relação à radiação solar, alguns estudos comprovam a associação entre o grau de resistência aos raios UV e a origem geográfica dos isolados, sendo que os oriundos de menores latitudes oferecem menor suscetibilidade quando expostos à radiação.²⁰ Para diferentes espécies e isolados de *Metarhizium*, expostos à radiação UV, observou-se que quanto maior a latitude de origem dos isolados, menor foi a tolerância à radiação.²¹

A alteração ou manejo ambiental deve ter o propósito de promover a conservação e o aumento de fungos entomopatogênicos, diminuindo os efeitos deletérios. Em cultivos perenes, como citros e café, é importante manter as entrelinhas vegetadas, para promover a proteção do patógeno contra a radiação UV e proporcionar um microclima favorável à sua conservação e atuação como agente de controle de pragas. A diversificação de cultivos também irá propiciar condições favoráveis à sobrevivência de outros artrópodes, que podem servir de hospedeiros alternativos aos fungos, favorecendo a multiplicação de propágulos infectivos para desencadear focos primários da doença e posteriormente causar epizootias.

Outra estratégia importante é o sombreamento por arborização, que pode ser utilizada, por exemplo, em sistemas silvipastoris, como pastagens sombreadas com eucalipto e outras espécies arbóreas, ou sistemas agroflorestais, como café consorciado com seringueiras ou com espécies frutíferas. Para culturas anuais, a redução dos espaçamentos e a utilização de espécies com desenvolvimento rápido favorecem a melhor cobertura do solo e o maior sombreamento em menor espaço de tempo, criando condições favoráveis aos fungos, principalmente pela diminuição da incidência da radiação UV e da temperatura, pelo aumento da umidade relativa.

- ²² YAO, S.; YING, S.; FENG, M. & HATTING, J. L. In vitro and in vivo responses of fungal biocontrol agents to gradient doses of UV-B and UV-A irradiation. *BioControl*, Dordrecht, v. 55, p. 413-422, 2010.
- ²³ ALVES, S. B. & LECUONA, R. E. Epizootiologia aplicada ao controle microbiano de insetos. In: ALVES, S. B. (Ed.). *Controle Microbiano de Insetos*. Op. cit., p. 97-170.
- ²⁴ RANGEL, D. E. N.; BRAGA, G. U. L.; ANDERSON, A. J. & ROBERTS, D. W. Variability in conidial thermotolerance of *Metarhizium anisopliae* isolates from different geographic origins. *Journal of Invertebrate Pathology*, San Diego, v. 88, p. 116-125, 2005.
- ²⁵ SOSA-GÓMEZ, D. R.; DELPIN, K. E.; MOSCARDI, F. & FARIAS, J. R. B. Natural occurrence of the entomopathogenic fungi *Metarhizium*, *Beauveria*, *Paecilomyces* in soybean under till and no-till cultivation systems. *Biological Control*, v. 30(3), p. 407-410, 2001.
- ²⁶ SILVA, R. Z.; NEVES, P. M. O. J. & SANTORO P. H. Técnicas e parâmetros utilizados nos estudos de compatibilidade entre fungos entomopatogênicos e produtos fitossanitários. *Semina Ciências Agrárias*, v. 26, p. 305-311, 2003.
- ²⁷ HALL, I. M. & DUNN, P. H. The effect of certain insecticides and fungicides on fungi pathogenic to the spotted alfalfa aphid. *Journal of Economic Entomology*, Washington, v. 52, p. 28-29, 1959.
- IGNOFFO, C. M.; HOSTETTER, D. L.; GARCIA, C. & PINNELL, R. E. Sensivity of the entomopathogenic fungus *Nomurae rileyi* to

A irrigação também favorece a conservação dos fungos por aumentar a umidade e reduzir as amplitudes térmicas. Essa prática, contudo, quando utilizada de maneira isolada, não proporciona a proteção contra a radiação solar, que é limitante para algumas espécies. Para *B. bassiana* e *M. anisopliae*, por exemplo, observou-se que, mesmo os isolados mais tolerantes à radiação UV, não seriam capazes de sobreviver a um dia de exposição à luz solar.²²

Apesar de o solo possuir uma fantástica capacidade antagonista exercida por microrganismos que neles habitam, tem sido referido como grande reservatório de patógenos. Isso se deve à ocorrência de grande número de insetos que vive ou passa parte do seu ciclo biológico no solo e também pela proteção que este oferece aos patógenos contra a radiação ultravioleta.²³ A exposição ao calor por condução no solo ou por radiação direta é um dos fatores que podem contribuir para falhas em programas de controle biológico.²⁴ Assim, práticas como as queimadas para a eliminação de restos culturais ou de culturas, bem como a queima da cana-de-açúcar que antecede a colheita, contribuem para a diminuição de inóculos de fungos entomopatogênicos e, por este motivo, devem ser evitadas.

Dentre os manejos agrícolas que são prejudiciais aos fungos entomopatogênicos está o sistema convencional de preparo do solo, com práticas como a aração, gradagem e escarificação. Com o revolvimento do solo pelos implementos, o patógeno fica exposto à radiação UV, à redução da umidade e ao aumento da temperatura. Para minimizar estes efeitos, o sistema de plantio direto, utilizado principalmente para promover a conservação dos solos, é uma forma de manejo que favorece a conservação dos fungos entomopatogênicos nas áreas cultivadas. Os restos culturais irão proteger os fungos dos danos diretos provocados pela radiação UV, além de reter maior umidade e amenizar o efeito das altas temperaturas até que se desenvolva um novo cultivo na área. Na comparação entre os dois sistemas de cultivo, foi constatado que em solos conduzidos sobre o sistema de plantio direto há maior ocorrência de fungos entomopatogênicos que são favorecidos pelas condições microclimáticas deste sistema de cultivo.²⁵

Na manipulação do ambiente, e com estreita relação com o MIP, podemos também citar o Manejo Fitossanitário das Lavouras como um dos fatores que influenciam na conservação de fungos entomopatogênicos. O termo Manejo Fitossanitário abrange todas as aplicações de produtos, químicos sintéticos ou não, que visem ao controle de insetos,

chemical pesticides used on soybeans. *Environmental Entomology*, Lanham, v. 4, p. 765-768, 1975.

ALVES, S. B.; RIGITANO R. L. O. & CAMARGO, J. L. G. Avaliação da influência de alguns herbicidas utilizados em cana-de-açúcar e pastagens sobre o fungo *Metarhizium anisopliae* (Metschnikoff) Sorokin, 1883. *Ecossistema*, Espírito Santo do Pinhal, v. 5, p. 21-24, 1980.

ALVES, S. B.; JUNIOR, A. M. & VIEIRA, S. A. Ação tóxica de alguns defensivos sobre fungos entomopatogênicos. *Ecossistema*, Espírito Santo do Pinhal, v. 18, p. 161-170, 1993.

BATISTA FILHO, A.; ALMEIDA, J. E. M. & LAMAS, C. Effect of thiametoxam on entomopathogenic microorganisms. *Neotropical Entomology*, v. 31, p. 437-447, 2002.

NEVES, P. M. O. J.; HIROSE, E.; TCHUJO, P. T. & MOINO Jr., A. Compatibility of entomopathogenic fungi with neonicotinoids insecticides. *Neotropical Entomology*, v. 31, p. 263-268, 2002.

LOUREIRO, E. S.; MOINO JUNIOR, A.; ARNOSTI, A. & SOUZA, G. C. Efeito de produtos fitossanitários químicos utilizados em alface e crisântemo sobre fungos entomopatogênicos. *Neotropical Entomology*, v. 31, p. 263-269, 2002.

TANZINI, M. R.; ALVES, S. B. & SETTEN, A. Toxicidade de produtos fitossanitários utilizados no controle de *Leptopharsa heveae* para fungos entomopatogênicos. *Arquivos do Instituto Biológico*, v. 69, p. 65-69, 2002.

ALMEIDA, J. E. M., BATISTA FILHO, A.; LAMAS, C.; LEITE, L. G.; TRAMA, M & SANO, A. H. Avaliação da compatibilidade de defensivos agrícolas na conservação de microrganismos entomopatogênicos no manejo de pragas do cafeeiro. *Arquivos do Instituto Biológico*. v. 70, p. 79-84, 2003.

ácaros, nematoides, doenças e plantas daninhas. Estes produtos podem causar a mortalidade dos propágulos infectivos dos fungos, diminuindo a eficiência de controle tanto para os patógenos que foram aplicados na lavoura quanto para aqueles que ocorrem naturalmente no ambiente. Por este motivo, é importante conhecer a ação de tais produtos sobre os fungos e procurar utilizar no MIP apenas os que são mais seletivos.

As interações entre fungos entomopatogênicos e produtos fitossanitários podem ser positivas, quando ocorre uma ação sinérgica ou aditiva; ou negativas, quando se verifica a inibição de um dos componentes, que geralmente é o patógeno. Os fungicidas normalmente inibem a germinação dos conídios/esporos dos fungos, diminuindo o potencial de inóculo. Assim, as interações, principalmente as negativas, devem ser consideradas nos programas de MIP, pois, quanto mais seletivo (compatível) for o produto químico, melhor será a conservação do entomopatógeno. Este aspecto é mais importante em agroecossistemas em que o fungo é um dos principais fatores de redução populacional de insetos, sendo considerado um inimigo natural chave.²⁶

Diversos trabalhos avaliam, há mais de 50 anos, a ação de agrotóxicos em relação às várias espécies de fungos entomopatogênicos,²⁷ com o objetivo de selecionar produtos que causem menor dano ao patógeno.

Os riscos decorrentes do uso dos agrotóxicos e a crescente demanda por alimentos isentos de contaminantes fez com que insumos com uso permitido na agricultura orgânica passassem a ter seus efeitos estudados. Nesse contexto, os efeitos do produto EM-4 (microrganismos eficazes) foram testados sobre *B. bassiana*, observando-se redução da produção de conídios, do crescimento vegetativo e das unidades formadoras de colônias.²⁸ Testes que avaliaram os efeitos de uma formulação comercial de óleo de nim (*Azadirachta indica* A. Juss.) e do extrato aquoso de sementes e folhas da mesma espécie sobre *B. bassiana*, mostraram ações do óleo de nim que variaram de moderadamente tóxica a tóxica. Já os extratos aquosos de sementes e folhas foram compatíveis.²⁹ Extratos de cúrcuma (*Curcuma longa*), capim-limão (*Cymbopogon citratus*) e citronela (*C. nardus*) apresentaram efeitos que variaram, dependendo da concentração utilizada, de compatível a muito tóxico à *B. bassiana*.³⁰ Os resultados mostram que mesmo produtos permitidos na agricultura orgânica devem ser utilizados com critério, pois podem afetar negativamente os fungos entomopatogênicos.

- BARCI, L. A. G.; WENZEL, I. M.; ALMEIDA, J. E. M. de; NOGUEIRA, A. H. de C. & PRADO, A. P. do. Compatibilidade de isolados de *Beauveria bassiana* (Ascomycetes: Clavicipitaceae) com carrapaticidas químicos utilizados no controle do carrapato dos bovinos. *Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária*, Jaboticabal, v. 18, p. 63-68, 2009.
- ²⁸ SANTORO, P. H.; NEVES, P. M. O. J.; CAVAGUCHI, S. A.; CONSTANSKI, K.; AMARO, J. T.; ALVES, L. F. A. & GOMES, B. B. Controle associado de *Alphitobius diaperinus* e efeito de microrganismos eficazes no desenvolvimento de *Beauveria bassiana*. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 43, p. 1-8, 2008.
- ²⁹ DEPIERI, R. A.; MARTINEZ, S. S. & MENEZES Jr., A. O. Compatibility of the fungus *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. (Deuteromycetes) with extracts of neem seeds and leaves and the emulsible oil. *Neotropical Entomology*, v. 34, n. 4, p. 601-606, 2005.
- ³⁰ MERTZ, N. R.; ALVES, L. F. A.; MARCOMINI, A. M.; OLIVEIRA, D. G. P. de & SANTOS, J. C. dos. Efeito de produtos fitossanitários naturais sobre *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. *in vitro*. *BioAssay*, v. 5, p. 1-10, 2010.
- ³¹ ROSSI-ZALAF, L. S.; ALVES, S. B.; LOPES, R. B.; SILVEIRA NETO, S. & TANZINI, M. R. Interação de microrganismos com outros agentes de controle biológico. In: ALVES, S. B. & LOPES, R. B. (Eds.). *Controle Microbiano de Pragas na América Latina*. Op. cit., p. 279-298.
- ³² KLINGEN, I.; EILENBERG, J. & MEADOW, R. Effects of farming system, field margins and bait insect on the occurrence of insect pathogenic fungi in soils. *Agriculture Ecosystems & Environment*, v. 91, p. 191-198, 2002.
- Dentre os efeitos deletérios mais importantes sobre os fungos, pode ocorrer inibição do crescimento vegetativo, reprodução, germinação, diminuição da virulência e mutações. Dessa forma, em função da espécie ou do isolado, da natureza química, concentração e tipos de inertes da formulação dos produtos fitossanitários, observa-se maior ou menor impacto sobre os entomopatogênicos. Normalmente, os efeitos são mais danosos que benéficos, podendo-se afirmar que a manutenção dos padrões atuais da agricultura, em termos de controle fitossanitário, tem sido o principal responsável pela redução da biodiversidade nos agroecossistemas.³¹ Sendo assim, é necessário que se utilizem produtos seletivos, que não afetem o equilíbrio entre as pragas e seus inimigos naturais. Na comparação entre sistemas de cultivo orgânico e convencional, verificou-se maior incidência de fungos entomopatogênicos em sistemas orgânicos.³²
- Além da seletividade, que pode dever-se à ação não letal dos produtos aos patógenos, também conhecida como compatibilidade ou seletividade fisiológica, podem ocorrer as seletividades espacial e temporal. A primeira se dá quando o produto não entra em contato com o entomopatógeno, como, por exemplo, na utilização de produtos granulados ou aplicados por regas localizadas, em talhões específicos ou reboleiras. Já a seletividade temporal manifesta-se quando os produtos são aplicados em épocas diferentes das aplicações, principalmente as inundativas, dos fungos. Por outro lado, os patógenos já existentes no agroecossistema, sejam provenientes de ocorrência natural ou de aplicações anteriores, ficam expostos à ação dos produtos, devendo-se, nestes casos, priorizar a utilização daqueles que apresentem seletividade fisiológica.
- Embora muitos produtos fitossanitários possam interferir negativamente na ação dos entomopatogênicos, alguns podem ser utilizados em associações com os fungos por apresentarem uma ação sinérgica, ou seja, há um aumento na eficiência de controle em comparação as aplicações isoladas dos fungos e outros agentes de controle, normalmente utilizando-se concentrações subletais.
- Na associação do inseticida Imidacloprid com os fungos *M. anisopliae* e *B. bassiana*, foi possível reduzir a concentração de conídios em até quatro vezes e a do inseticida Imidacloprid em até 157 vezes em relação às concentrações usualmente recomendadas, obtendo-se eficientes níveis de controle de cupins de montículo *Cornitermes cumulans* (Kollar). Além da redução considerável nos custos, é im-

- KLEESPIES, R. von; BATHON, H.; ZIMMERMANN, G. & GEEST, L. P. S. van der. Investigations on the natural occurrence of entomopathogenic fungi and nematodes in different soils in the surroundings of Dramstadt. *Gesunde Pflanz.*, 41, 350-354, 1989.
- ³³ NEVES, M. J. O. & ALVES, S. B. Controle associado de *Cornitermes cumulans* (Kollar, 1832) (Isoptera: Termitidae) com *Metarhizium anisopliae*, *Beauveria bassiana* e imidacloprid. *Scientia Agricola*, v. 56, p. 305-311, 1999.
- ³⁴ SANTORO, P. H.; NEVES, P. M. O. J.; CAVAGUCHI, S. A.; CONSTANSKI, K.; AMARO, J. T.; ALVES, L. F. A. & GOMES, B. B. Controle associado de *Alphitobius diaperinus* e efeito de microrganismos eficazes no desenvolvimento de *Beauveria bassiana*. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 43, p. 1-8, 2008.
- ³⁵ ROSSI-ZALAF, L. S. *et al.* *Op. cit.*
- ³⁶ QUINTELA, E. D.; TEIXEIRA, S. M.; FERREIRA, S. B.; GUIMARÃES, W. F. F.; OLIVEIRA, L. F. C. de & CZEPAK, C. *Desafios do Manejo Integrado de Pragas da Soja no Brasil Central*, 2007. 6 p. (Comunicado técnico, n. 149)
- ³⁷ ALMEIDA, J. E. M. *et al.* *Op. cit.*
- OLIVEIRA, C. N. de; NEVES, P. M. O. J. & KAWAZOE, L. S. Compatibility between the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* and insecticides used in coffee plantations. *Scientia Agricola*, v. 60, p. 663-667, 2003.
- ANDALÓ, V.; MOINO Jr. A.; SANTA-CECÍLIA, L. V. C. & SOUZA, G. C. Compatibilidade de *Beauveria bassiana* com agrotóxicos visando o controle da cochonilha-da-raiz-do-cafeeiro *Dysmicoccus texensis* Tinsley (Hemiptera: Pseudococcidae). *Neotropical Entomology*, v. 33, p. 463-467, 2004.

portante considerar os benefícios ecológicos decorrentes da diminuição na quantidade de inseticida utilizado.³³

A ação sinérgica também pode ocorrer pela associação dos fungos com produtos naturais, como a terra diatomácea. Para *Alphitobius diaperinus* (Panzer), praga que apresenta alta tolerância aos fungos entomopatogênicos, foi possível obter efeitos sinérgicos quando *B. bassiana* foi associada à terra diatomácea. Na associação, a eficiência de controle foi 10 vezes maior que na aplicação isolada de terra diatomácea e duas vezes maior que a aplicação isolada do fungo.³⁴

Outra estratégia importante para reduzir as aplicações de produtos fitossanitários e favorecer a conservação dos fungos, é a utilização de plantas resistentes ou tolerantes às pragas e às doenças. Verifica-se que, dentre os agrotóxicos utilizados, os grupos de fungicidas são os que apresentam, de maneira geral, maior toxicidade aos fungos entomopatogênicos.³⁵ Um exemplo disso é o grande número de pulverizações de fungicidas na cultura da soja, feitas para o controle da ferrugem asiática *Phakopsora pachyrhizi* (Syd.) e que tem afetado de forma negativa o fungo *Nomuraea rileyi* (Farlow) Samson, importante patógeno que se caracteriza por causar epizootias em populações de *Anticarsia gemmatalis* (Hübner).³⁶ Recentemente, foram lançadas cultivares de soja que são resistentes à ferrugem. Com isso, a redução de aplicações de fungicidas em áreas com essas cultivares poderá contribuir para a conservação do entomopatógeno e para a ocorrência de epizootias, reduzindo a necessidade do controle químico de *A. gemmatalis*.

Outros exemplos de plantas com resistência que contribuem para a conservação de fungos entomopatogênicos são as cultivares de café resistente à ferrugem (*Hemileia vastatrix*). Quando associadas ao uso de produtos fitossanitários seletivos, como os descritos em vários trabalhos³⁷, e ao equilíbrio nutricional da planta, para redução de incidência de cercosporiose (*Cercospora coffeicola*)³⁸, contribuem para a conservação do fungo *B. bassiana*, um dos principais agentes de controle biológico da broca-do-café (*Hypothenemus hampei*).

As relações existentes nos agroecossistemas são complexas devido à influência de diversos fatores, como por exemplo, o tipo de solo, as condições climáticas, a composição florística e faunística, os insumos agrícolas, as práticas culturais, entre outros, os quais afetam direta ou indiretamente a eficiência e conservação dos fungos entomopatogênicos e a sua utilização no MIP. De maneira geral, os estu-

³⁸ GARCIA JÚNIOR, D.; POZZA, E. A.; POZZA, A. A.; SOUZA, P. E.; CARVALHO, J. G. & BALIEIRO, A. C. Incidência e severidade da cercosporiose do cafeeiro em função do suprimento de potássio e cálcio em solução nutritiva. *Fitopatologia Brasileira*, v. 28, p. 286-291, 2003.

Pedro Manuel Oliveira Janeiro Neves é engenheiro agrônomo, doutor em Entomologia e professor associado da Universidade Estadual de Londrina, Paraná.

pedroneves@uel.br

Patricia Helena Santoro é engenheira agrônoma, doutora em Agronomia e pesquisadora do Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR), Londrina.

patriciasantoro@iapar.br

dos com estes patógenos são pontuais e desenvolvidos principalmente em laboratórios, em condições controladas, onde as interferências de muitos dos fatores que ocorrem no campo não são consideradas, o que pode explicar uma maior eficiência de controle nos experimentos conduzidos em laboratórios.

Ainda são necessários estudos que avaliem as interações dos diferentes componentes do agroecossistema em relação às principais espécies de fungos entomopatogênicos, visando obter informações que possam ser utilizadas para proporcionar condições que favoreçam maior eficiência de controle. Entretanto, deve ficar claro que estes patógenos, como componentes do MIP, irão contribuir para a redução da população de espécies consideradas pragas e não para sua completa eliminação. A eficiência dos fungos não deve ser medida apenas em função do nível de controle, mas também em função da manutenção do equilíbrio ecológico que ele proporcionará ao longo do tempo e do menor impacto ambiental que eles causam, quando comparados aos agrotóxicos.