

Revista
Ciência, Tecnologia & Ambiente

Toxicidade de diferentes concentrações do inseticida indoxacarbe para formigas-cortadeiras

Toxicity of different concentrations of the insecticide indoxacarb for leaf-cutting ants

Luis Eduardo Pontes Stefanelli^{1*}, Luiz Carlos Forti¹, Ramon De Marchi Garcia¹

¹ Departamento de Proteção Vegetal, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista – UNESP, Botucatu, SP, Brasil. *Autor para correspondência: agronomiastefanelli@hotmail.com

Como citar: STEFANELLI, L.E.P., FORTI, L.C. & GARCIA, R.M., 2019. Toxicidade de diferentes concentrações do inseticida indoxacarbe para formigas cortadeiras. *Ciência, Tecnologia & Ambiente*, vol. 9, e09132. https://doi.org/10.4322/2359-6643.09132.

RESUMO

Existem muitos desafios para o controle de formigas-cortadeiras no setor florestal. Diante desta problemática, a busca por novas formulações e síntese de substâncias são práticas recorrentes adotadas por empresas e centros de pesquisa. Entre as etapas realizadas para o desenvolvimento de um produto comercial, os testes toxicológicos são uma premissa fundamental para avaliar a eficácia de uma substância, além de definir uma dose adequada e ambientalmente segura. No presente estudo de toxicidade, foram selecionados cinco tratamentos com diferentes concentrações de ativos, sendo: indoxacarbe (0,0083, 0,017, 0,033 e 0,05%), sulfuramida (padrão - 0,1%), e um grupo controle negativo, com quatro repetições (conjunto de 20 operárias) por tratamento. Foram formuladas iscas pastosas e ofertadas, seguindo o protocolo da Instrução Normativa nº 42 do MAPA (Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento) para formigas-cortadeiras. As avaliações foram realizadas a cada 24 horas até o 21º dia após a aplicação. A concentração de 0,1% de sulfuramida gerou 100% de mortalidade. As concentrações de 0,017 e 0,033% apresentaram taxa de mortalidade média na ordem de 60%. Os resultados obtidos demonstraram atividade formicida do indoxacarbe, no entanto a concentração deve ser ajustada para estudos futuros.

Palavras-chave: isca pastosa, controle químico, inseticida, bioensaio.

ABSTRACT

There are many challenges for controlling leaf-cutting ants in the forestry sector. In view of this problem, the search for new formulations and the synthesis of substances are recurrent practices adopted by companies and research centers. Among the steps taken to develop a commercial product, toxicological tests are a fundamental premise for evaluating the effectiveness of a substance, in addition to defining an appropriate and environmentally safe dose. In the present toxicity study, five treatments with different active concentrations selected, being: indoxacarb (0.0083, 0.017, 0.033 and 0.05%), sulfuramide (standard - 0.1%) and a negative control group, with four replicates (set workers) per treatment. Pasty baits were formulated and offered following the protocol of Normative Instruction nº 42 of MAPA (Ministry of Agriculture, Livestock and Supply) for leaf-cutting ants. The evaluations were done out every 24 hours until the 21st day after application. The concentration of 0.1% sulfuramide generated 100% mortality. The concentrations of 0.017% and 0.033% had an average mortality rate in the order of 60%. The results obtained demonstrated the formicidal activity of indoxacarb, however, the concentration must be adjusted for future studies.

Keywords: pasty bait, chemical control, insecticide, bioassay.



INTRODUÇÃO

As formigas são organismos que desempenham importantes papéis no fluxo energético e de nutrientes dos ecossistemas (Rebula et al., 2003). Essa função ecológica exercida é explicada principalmente pelas numerosas interações com as diversas espécies vegetais e animais do ambiente (Davidson e Mckey, 1993).

Entre essas relações interespecíficas nos ecossistemas, existem formigas da subfamília Myrmicinae que possuem capacidade de cultivar fungos, e em sua maioria os dois gêneros de fungos basidiomicetos que realizam essa relação mutualística com as formigas são *Leucoagaricus* e *Leucocoprinus* (Della Lucia, 2011). Estas formigas pertencem a tribo Attini, e utilizam o fungo como base de sua nutrição (Weber, 1972). São exclusivas do Novo Mundo e ocorrem desde o norte-leste dos Estados Unidos latitude 40°N (Rabeling et al., 2007) até o centro da Argentina, latitude 41°S (Farji-Brener e Corley, 1998), com exceção do Chile e algumas ilhas das Antilhas.

Segundo Sosa-Calvo et al. (2013), a tribo Attini compreende mais de 256 espécies catalogadas, dos quais os gêneros *Atta* e *Acromyrmex*, que são as formigas-cortadeiras de folhas, apresentam grande destaque. De maneira específica, o gênero *Atta* está situado entre as latitudes 32°N e 33°S, e o gênero *Acromyrmex*, distribuído entre as latitudes 34°N e 41°S (Mehdiabadi e Schultz, 2009).

As formigas-cortadeiras são temas recorrentes de estudo, em decorrência da sua grande importância agrícola, e as espécies do gênero *Atta* estão entre as mais estudadas dentre os insetos tropicais (Mueller e Rabeling, 2008). A relevância dos gêneros *Atta* e *Acromyrmex* se dá principalmente pela sua grande distribuição pelo território brasileiro e intensa atividade de forrageamento em todo o período anual (Hernandez e Jaffé, 1995). Estes dois gêneros representam importantes pragas agrícolas e florestais na região Neotropical, situação que exige do setor florestal, constante monitoramento e controle destes insetos-praga, principalmente do ponto de vista econômico, uma vez que constituem as principais pragas em cultivos de *Eucalyptus* spp. e *Pinus* spp. (Zanuncio et al., 2016).

Além disso, podem atacar diversas culturas agrícolas e áreas de pastagens, pois utilizam grande quantidade de material vegetal como substrato (Cherrett, 1968), ocasionando assim consideráveis perdas de rentabilidade em outros sistemas agrícolas do agronegócio. A intensa desfolha pode causar problemas, como a menor altura e

diâmetro do caule das plantas, além de outras situações, como o replantio, maior incidência e suscetibilidade a doenças, dentre outros problemas.

No Brasil, a espécie *Atta sexdens* é apontada como a que apresenta maior distribuição territorial e a maior causadora de prejuízos às lavouras dentre as espécies de cortadeiras (Gonçalves, 1963). Em decorrência das formigas-cortadeiras atacarem muitas espécies vegetais, ainda existe o fator de destaque que é preferência por plantas cultivadas. Considerada uma praga potencial nos sistemas silviculturais, o gênero *Atta* tem sido frequentemente utilizado como modelo de estudo no desenvolvimento de novas substâncias com características formicidas (Nagamoto et al., 2004).

Diante deste cenário, a busca por produtos efetivos para o controle destes insetos é fundamental, mas a prospecção de substâncias é um processo demorado, principalmente pelo fato dos compostos testados apresentarem toxicidade menor do que o ingrediente ativo (IA) mais utilizado pela indústria, que é a sulfluramida. Atualmente, este IA é o único disponível que apresenta as características necessárias para uma boa eficácia como isca tóxica (Della Lucia et al., 2014). A sulfluramida é um inseticida que pertence ao grupo químico sulfonamida fluoralfática (número de registro CAS: 4151-50-2) e com o nome químico IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry): N-etilperfluor-octano-1-sulfonamida. Este IA pertence à classe de inseticidas de ação retardada (Schnellmann e Manning, 1990), e no caso das formigas-cortadeiras, sua ingestão afeta o processo de fosforilação oxidativa, cessando a síntese de ATP (Nagamoto et al., 1998).

Os bioensaios de toxicidade são compostos geralmente de duas etapas. A primeira etapa é constituída pela seleção dos tratamentos (novas moléculas sintetizadas com propriedades inseticidas ao inseto-praga). A segunda, após a seleção das substâncias utilizadas, é estimar entre os produtos selecionados quais serão as concentrações letais para o organismo alvo (Carvalho et al., 2017). Vale lembrar que estas etapas são realizadas em condições de laboratório. Normalmente, os IAs que apresentaram bom desempenho em laboratório são testados em ensaios de campo para verificar sua eficiência. Nestes casos, já são realizados com o produto formulado, e para

formigas-cortadeiras, ainda deve ser realizado o teste com colônias de laboratório antes dos ensaios de campo.

Algumas propriedades físico-químicas da molécula inseticida devem ser consideradas e estudadas para a mesma ser considerada ambientalmente segura, tais como: K_{ow} (coeficiente de partição octanol/água, que estima a hidrofobicidade da substância); K_d e K_{oc} (coeficientes de distribuição do inseticida no solo e na matéria orgânica, respectivamente); C_w (solubilidade) e meia-vida no solo ($T_{1/2\text{SOLO}}$), neste último caso, a meia-vida está relacionada ao tempo que 50% da massa de determinado produto demora para ser degradada na natureza (Mahan e Myers, 2000), e isto permite que o inseticida tenha um intervalo de segurança entre aplicações.

O indoxacarbe (número de registro CAS: 173584-44-6) é um inseticida pertencente ao grupo químico oxadiazina, com o nome químico IUPAC: metil (S)-N-[7-cloro-2,3,4a,5-tetrahidro-4a-(metoxicarbonil) indeno[1,2-e][1,3,4]oxadiazina-2-ilcarbonil]-4'-(trifluorometoxi) carbanilato. Uma característica distinta e determinante deste composto é sua forma de ativação, no qual ocorre o bloqueio dos canais de sódio por uma pequena oscilação de voltagem a partir da síntese de um metabólito denominado de N-decarbometoxilato.

É um inseticida altamente ativo, de amplo espectro para os insetos de importância agrícola, principalmente das ordens Lepidoptera, Coleoptera e Hemiptera (Wing et al., 2000). A descoberta do indoxacarbe foi possível por meio do aperfeiçoamento da pirazolina para ser utilizada como inseticida eficiente e seguro para organismos não alvos e ao ambiente. As variações no núcleo da pirazolina levaram à descoberta de que as oxadiazinas relacionadas estruturalmente também apresentavam grande potencial inseticida (Salgado, 1990). A otimização das oxazininas gerou a descrição do indoxacarbe racêmico (McCann et al., 2001). O indoxacarbe apresenta o mesmo mecanismo de ação da pirazolina, afetando as células neurais. Desta forma, a utilização de diferentes mecanismos de ação é uma ferramenta fundamental para o controle de insetos-praga, o que torna o presente estudo muito relevante.

Este estudo buscou identificar a efetividade do inseticida indoxacarbe no controle de formigas-cortadeiras, por meio de um bioensaio toxicológico avaliando a taxa de mortalidade de formigas como resultado da ingestão oral dessa substância.

MATERIAL E MÉTODOS

Colônia Estudada

A colônia utilizada neste experimento foi coletada no município de Botucatu, SP, e mantida no Laboratório de Insetos Sociais-Praga (LISP), Departamento de Produção Vegetal da Faculdade de Ciências Agrônomicas - UNESP, Botucatu-SP. A colônia selecionada possuía volume aproximado de 5 L e foi utilizada para a retirada das operárias de *Atta sexdens* (Linnaeus, 1758) (Hymenoptera: Formicidae). Para a manutenção da colônia até a data do experimento foram ofertadas folhas de *Acalypha* spp. como substrato para manutenção do jardim de fungos. A colônia foi mantida nas seguintes condições: temperatura de 22 ± 2 °C, umidade relativa de $70 \pm 10\%$, e fotoperíodo 12 h.

Formulações de Pasta de Polpa Cítrica com Ingredientes Ativos Indoxacarbe e Sulfluramida

A formulação na forma de isca pastosa, e a análise da taxa de mortalidade das operárias em decorrência da ingestão das formulações, foi avaliada seguindo a Instrução Normativa nº 42, do protocolo desenvolvido por Nagamoto et al. (2004), e estabelecido pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento/Controle de Pragas (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento/Secretaria de Defesa Agropecuária - MAPA/SDA) (Brasil, 2011).

Formulação e Aplicação da Isca Pastosa

As seleções dos tratamentos foram compostas por: um controle negativo (formulação de pasta de polpa cítrica desidratada), um controle padrão ou positivo (0,1% sulfluramida) e quatro concentrações de indoxacarbe: 0,05, 0,033, 0,017 e 0,0083%, totalizando seis tratamentos e quatro repetições (cada repetição foi representada por um recipiente plástico com 20 operárias de *A. sexdens*). Os recipientes apresentavam transparência (para facilitar as observações), e com as seguintes dimensões: 101 × 61 mm (diâmetro × altura) com tampas herméticas. O fundo de cada recipiente foi coberto por uma fina camada de gesso (1 cm de espessura) e seco por 24 horas a 50 °C, antes da pasta ser oferecida para as operárias, o gesso foi umedecido com água destilada.

As operárias selecionadas para o experimento apresentavam cápsula cefálica com largura média de $2,0 \pm 2$ mm, valor que encontra-se dentro do proposto por Wilson (1980), que aferiu que o tamanho da cápsula

cefálica entre 1,8 e 2,8 mm é o responsável pela maior parte do corte de material vegetal.

Foram realizadas as seguintes etapas: primeiramente, cada IA (indoxacarbe e sulfuramida) foi dissolvido com o solvente acetona e, em seguida, foi misturado o pó de polpa cítrica; realizou-se o processo de homogeneização da mistura com de um bastão de vidro e aguardou-se a evaporação do solvente; nesta mistura foi adicionada uma solução de sacarose (10%) até a obtenção de uma pasta; todas as formulações foram preparadas como p / p (peso / peso) (Sousa et al., 2018).

Foi oferecido 2 g da pasta formulada por repetição (conjunto de 20 operárias) e as operárias permaneceram 24 h em contato com a isca pastosa, a qual após esse período foi retirada. Em seguida, foi oferecida para cada repetição um volume aproximado de 2,0 cm³ de esponja fúngica, contendo 20 jardineiras (operárias pequenas) para auxiliar no cultivo do fungo mutualístico. A avaliação da mortalidade foi realizada nos dias 1, 2, 3, 5, 7, 9, 11, 14, 17 e 21 após a adição da isca pastosa.

Para mensurar a mortalidade natural ou decorrente do manuseio experimental, utilizou-se um tratamento controle ou testemunha negativa. Para este tipo de tratamento, a isca pastosa (controle negativo), foi preparada seguindo o mesmo procedimento, no entanto, sem adição de IAs.

A taxa de mortalidade das operárias foi corrigida utilizando a fórmula de Abbott (1925), para reduzir a influência de fatores, como a idade do inseto e a mortalidade natural, e desta forma foi possível calcular a taxa de sobrevivência de cada tratamento.

Neste caso, o tratamento do grupo controle (testemunha) é utilizado na obtenção da mortalidade

corrigida dos demais tratamentos. O cálculo da mortalidade corrigida (Abbott, 1925) é representado pela Equação 1:

$$MCorr = [(MT - MC) / (100 - MC)] * 100 \quad (1)$$

onde: MCorr: Mortalidade corrigida (%); MT: Mortalidade do tratamento (%); MC: Mortalidade do controle (%).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos dados coletados nos 21 dias de avaliação foi possível avaliar o desempenho de cada concentração do IA indoxacarbe e sua comparação com a sulfuramida (inseticida padrão) (Figura 1).

Os dados da Tabela 1 representam a porcentagem da mortalidade acumulada diariamente (%), o valor da mediana (Md) e a interpretação dos resultados pelo Teste de Friedman. As medianas foram comparadas pelo Método de Student-Newman-Keuls.

Foi observado que as formigas tratadas com indoxacarbe apresentaram sintomas de intoxicação, como dificuldade de locomoção, tremor, desorientação, e paralisia, com mais intensidade nos primeiros dias

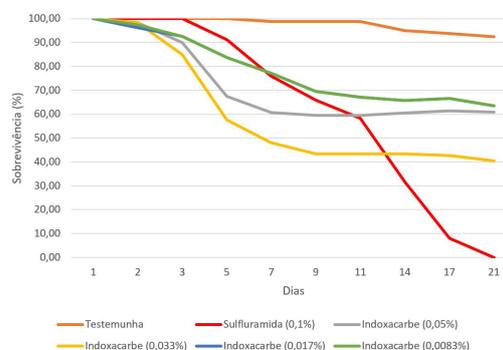


Figura 1. Taxa de sobrevivência (%) de formigas de acordo com os respectivos tratamentos.

Tabela 1. Mortalidade acumulada e mediana (Md) de operárias de *Atta sexdens* submetidas ao bioensaio com grupo controle (testemunha), sulfuramida (0,1%) e indoxacarbe (0,0083, 0,017, 0,033 e 0,05%).

	Tratamento % da mortalidade corrigida acumulada por dia										Md*
	1	2	3	5	7	9	11	14	17	21	
Testemunha	0	0	0	0	1,2	1,2	1,2	5,0	6,2	7,5	2,0 ± 0,5 d
Sulfuramida (0,1%)	0	0	0	8,7	24,0	34,1	41,7	68,4	92,0	100,0	20 ± 0,5 a
Indoxacarbe (0,05%)	0	1,2	10,0	32,5	38,6	39,1	39,2	39,4	40,5	40,5	8 ± 0,6 c
Indoxacarbe (0,033%)	0	1,2	15,0	42,	51,9	56,5	56,9	56,9	57,3	59,4	12 ± 1,8 b
Indoxacarbe (0,017%)	0	3,7	27,5	52,5	59,4	61,8	62,0	62,1	62,6	63,2	13 ± 0,5 b
Indoxacarbe (0,0083%)	0	2,5	7,5	16,2	22,7	30,3	32,9	33,33	34,2	36,4	7 ± 1,4 c

*Valores de mediana ± semi-amplitude interquartilica, as medianas seguidas por letras distintas indicam diferença significativa entre si, no nível de 5% de probabilidade pelo teste de Student-Newman-Keuls.

de avaliação. Nos estudos de Nagamoto (2003) ainda é relatado que a paralisia do inseto pode se prolongar por vários dias, e este tipo de sintoma de intoxicação interfere na redução do forrageamento e comportamentos de autolimpeza.

Alguns tratamentos apresentaram diferença significativa quando comparados ao grupo controle (testemunha). As concentrações de indoxacarbe que apresentaram maiores destaques foram 0,033 e 0,017%. Estes valores baixos são corroborados pelos estudos de Silva (2012), que avaliando a ação tóxica de IAs em operárias de *A. sexdens*, concluiu que o indoxacarbe apresenta baixa dose média letal e baixo tempo médio letal. No presente estudo também foram utilizadas baixas concentrações de indoxacarbe, o que do ponto de vista ambiental, é uma boa alternativa para o manejo de pragas dos agroecossistemas.

No entanto, em nenhum destes casos ocorreu mortalidade total das operárias, com valores na ordem de 60%, um índice considerado ineficiente para o controle, em virtude da sulfluramida ocasionar 100% de mortalidade no período de 21 dias após a aplicação. No caso da sulfluramida, percebe-se que o efeito da mortalidade aumenta progressivamente em função do tempo, e isso pode ser explicado principalmente pelo seu modo de ação lento; esta ação retardada é muito interessante no caso das formigas-cortadeiras, permitindo que o IA tenha uma boa dispersão dentro da colônia ao longo do tempo.

Autores como Nagamoto et al. (2004), ainda apontam para a dificuldade das operárias de *A. sexdens* realizarem a desintoxicação da sulfluramida. Os tratamentos contendo 0,05 e 0,0083% de indoxacarbe apresentaram mortalidade média na ordem de 40%, um valor considerado baixo para o controle de formigas-cortadeiras.

Com este resultado, é possível afirmar que a mortalidade ocorrida na testemunha (controle negativo) pode ser constatada como natural, considerando a fórmula de Abbott (1925), e permitindo a aferição do efeito dos IAs sobre as operárias.

Nota-se que para o indoxacarbe, a mortalidade dos insetos ocorreu em sua maioria até o 11º dia, diferentemente de iscas à base de sulfluramida e dodecacloro, que atuam tipicamente por ingestão. Por outro lado, além da ação de

ingestão, indoxacarbe também age por contato (Tomlin, 2000), dinâmica semelhante quando comparado com o IA fipronil.

Na interpretação dos resultados, foi possível aferir os tratamentos mais promissores. A mortalidade na ordem de 60%, apesar de baixa, pode ser uma alternativa a ser considerada para que não ocorra total dependência do IA sulfluramida. Neste caso, é necessário ajustar a concentração do indoxacarbe para estudos futuros. As perspectivas para o controle destes insetos desfolhadores são as melhores possíveis, pois muitos centros de pesquisa estão buscando novas alternativas promissoras, e possivelmente com a colaboração conjunta da indústria e dos pesquisadores este processo seja facilitado.

No presente estudo, entretanto, apenas o IA sulfluramida ocasionou média de mortalidade de 100%, continuando a apresentar características desejáveis de uma isca formicida.

CONCLUSÃO

Indoxacarbe demonstrou atividade formicida. No entanto, nas concentrações selecionadas, causou mortalidade aproximada de 60% das operárias. Desta forma, a concentração selecionada deve ser ajustada em estudos futuros.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

- ABBOTT, W.S., 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology*, vol. 18, no. 2, pp. 265-267. <http://dx.doi.org/10.1093/jee/18.2.265a>.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2011. Instrução normativa nº. 42. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, 5 dez. Seção 1, p. 4-5.
- CARVALHO, J.R., PRATISSOLI, D., VIANNA, U.R. & HOLTZ, A.M., 2017. *Análise de ProBit aplicada a bioensaios com insetos*. Colatina: IFES. 102 p.

- CHERRETT, J.M., 1968. The foraging behaviour of *Atta cephalotes* L. (Hymenoptera: Formicidae). Foraging patterns and plant species attacked in tropical rain forest. *Journal of Animal Ecology*, vol. 37, no. 2, pp. 387-403. <http://dx.doi.org/10.2307/2955>.
- DAVIDSON, D. & MCKEY, D., 1993 [acesso em 15 abril 2019]. The evolutionary ecology of symbiotic ant-plant relationships. *Journal of Hymenoptera Research*, vol. 2, no. 1, pp. 18-33. Disponível em: <https://ci.nii.ac.jp/naid/10027795166/>
- DELLA LUCIA, T.M.C., 2011. *Formigas cortadeiras: da bioecologia ao manejo*. Viçosa: UFV. 419 p.
- DELLA LUCIA, T.M.C., GANDRA, L.C. & GUEDES, R.N.C., 2014. Managing leaf-cutting ants: peculiarities, trends and challenges. *Pest Management Science*, vol. 70, no. 1, pp. 14-23. <http://dx.doi.org/10.1002/ps.3660>.
- FARJI-BRENER, A.G. & CORLEY, J.C., 1998. Successful invasions of hymenopteran insects into NW Patagonia. *Ecologia Austral*, vol. 8, no. 02, pp. 237-249.
- GONÇALVES, C.R., 1963. Nota sobre a sistemática de *Atta sexdens* (L., 1758) e de suas subespécies (Hymenoptera: Formicidae). *Boletim Fitossanitário*, vol. 9, no. 1/2, pp. 1-3.
- HERNANDEZ, J.V. & JAFFÉ, K., 1995. Dano econômico causado por populações de formigas *Atta laevigata* (F. Smith) em plantações de *Pinus caribaea* Mor. e elementos para o manejo da praga. *Anais da Sociedade Entomológica do Brasil*, vol. 24, no. 2, pp. 287-298.
- MAHAN, B.M. & MYERS, R.J., 2000. *Química: um curso universitário*. São Paulo: Edgard. 582 p.
- MCCANN, S.F., ANNIS, G.D., SHAPIRO, R., PIOTROWSKI, D.W., LAHM, G.P., LONG, J.K., LEE, K.C., HUGHES, M.M., MYERS, B.J., GRISWOLD, S.M., REEVES, B.M., MARCH, R.W., SHARPE, P.L., LOWDER, P., BARNETTE, W.E. & WING, K.D., 2001. The discovery of indoxacarb: oxadiazines as a new class of pyrazoline-type insecticides. *Pest Management Science*, vol. 57, no. 2, pp. 153-164. [http://dx.doi.org/10.1002/1526-4998\(200102\)57:2<153::AID-PS288>3.0.CO;2-O](http://dx.doi.org/10.1002/1526-4998(200102)57:2<153::AID-PS288>3.0.CO;2-O).
- MEHDIABADI, N.J. & SCHULTZ, T.R., 2009. Natural history and phylogeny of the fungus-farming ants (Hymenoptera: Formicidae: Myrmicinae: Attini). *Myrmecological News*, vol. 13, no. 1, pp. 37-55.
- MUELLER, U.G. & RABELING, C., 2008. A breakthrough innovation in animal evolution. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 105, no. 14, pp. 5287-5288. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.0801464105>.
- NAGAMOTO, N.S., 2003. *Estudos toxicológicos de princípios ativos utilizando como modelo Atta sexdens rubropilosa* (Hymenoptera, Formicidae). Botucatu: Universidade Estadual Paulista. 234 p. Tese de Doutorado em Proteção de Plantas.
- NAGAMOTO, N.S., FORTI, L.C. & ANDRADE, A.A., 1998. Eficiência das iscas granuladas Mirex-S e Mirex-S Plus para o controle de *Atta sexdens rubropilosa*, *Atta laevigata* e *Atta capiguara* (Hymenoptera: Formicidae). In: *Anais do Congresso Brasileiro de Entomologia*, 1998. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Entomologia, p. 567.
- NAGAMOTO, N.S., FORTI, L.C., ANDRADE, A.P.P., BOARETTO, M.A.C. & WILCKEN, C.F., 2004. Method for the evaluation of insecticidal activity over time in *Atta sexdens rubropilosa* workers (Hymenoptera: Formicidae). *Sociobiology*, vol. 44, no. 2, pp. 413-431.
- RABELING, C., COVER, S.P., JOHNSON, R.A.A. & MUELLER, U.G.A., 2007. A review of the North American species of the fungus-gardening ant genus *Trachymyrmex* (Hymenoptera: Formicidae). *Zootaxa*, vol. 1664, no. 1, pp. 1-53.
- REBULA, C.A., MORAIS, H.C. & ALVES, F.S., 2003. Estudo de altas concentrações de alumínio na dieta de *Atta sexdens* aspectos da dinâmica colonial. In: *Anais do Congresso de Ecologia do Brasil*, 2003. Fortaleza: SISCON. p. 406-407.
- SALGADO, V.L., 1990. Mode of action of insecticidal dihydropyrazoles: selective block of impulse generation in sensory nerves. *Pesticide Science*, vol. 28, no. 4, pp. 389-411. <http://dx.doi.org/10.1002/ps.2780280406>.
- SCHNELLMANN, R.G. & MANNING, R.O., 1990. Perfluorooctane sulfonamide: a structurally novel uncoupler of oxidative phosphorylation. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)- Bioenergetics*, vol. 1016, no. 3, pp. 344-348. [http://dx.doi.org/10.1016/0005-2728\(90\)90167-3](http://dx.doi.org/10.1016/0005-2728(90)90167-3).
- SILVA, M.S., 2012. *Ação tóxica de ingredientes ativos em Atta sexdens rubropilosa* Forel, 1908 (Hymenoptera: Formicidae) visando seu emprego em iscas formicidas. Botucatu: Universidade Estadual Paulista. 100 p. Tese de Doutorado em Proteção de Plantas.

- SOSA-CALVO, J., SCHULTZ, T.R., BRANDÃO, C.R.F., KLINGENBERG, C., FEITOSA, R.M., RABELING, C., BACCI, M., LOPES, C. & VASCONCELOS, H.L., 2013. *Cyatta abscondita*: taxonomy, evolution, and natural history of a new fungus-farming ant genus from Brazil. *PLoS One*, vol. 8, no. 11, pp. 1-20. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0080498>.
- SOUSA, K.K.A., CAMARGO, R.S., FORTI, L.C. & CALDATO, N., 2018. Effects of cycloheximide on the mortality of *Atta sexdens* leaf-cutting worker ants. *Revista Brasileira de Entomologia*, vol. 62, no. 3, pp. 169-171. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rbe.2018.04.002>.
- TOMLIN, C.D.S., 2000. *The pesticide manual*. United Kingdom: British Crop Protection Council. 1250 p.
- WEBER, N.A., 1972. *Gardening ants: The Attines*. Philadelphia, PA: The American Philosophical Society, 146p
- WILSON, E.O., 1980. Caste and division of labor in leaf-cutter ants (Hymenoptera: Formicidae: *Atta*). *Behavioral Ecology and Sociobiology*, vol. 7, no. 2, pp. 157-165. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00299521>.
- WING, K.D., SACHER, M., KAGAYA, Y., TSURUBUCHI, Y., MULDERIG, L., CONNAIR, M. & SCHNEE, M., 2000. Bioactivation and mode of action of the oxadiazine indoxacarb in insects. *Crop Protection (Guildford, Surrey)*, vol. 19, no. 8-10, pp. 537-545. [http://dx.doi.org/10.1016/S0261-2194\(00\)00070-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0261-2194(00)00070-3).
- ZANUNCIO, J.C., LEMES, P.G., ANTUNES, L.R., MAIA, J.L.S., MENDES, J.E.P., TANGANELLI, K.M., SALVADOR, J.F. & SERRÃO, J.E., 2016. The impact of the Forest Stewardship Council (FSC) pesticide policy on the management of leaf-cutting ants and termites in certified forests in Brazil. *Annals of Forest Science*, vol. 73, no. 2, pp. 205-214. <http://dx.doi.org/10.1007/s13595-016-0548-3>.