

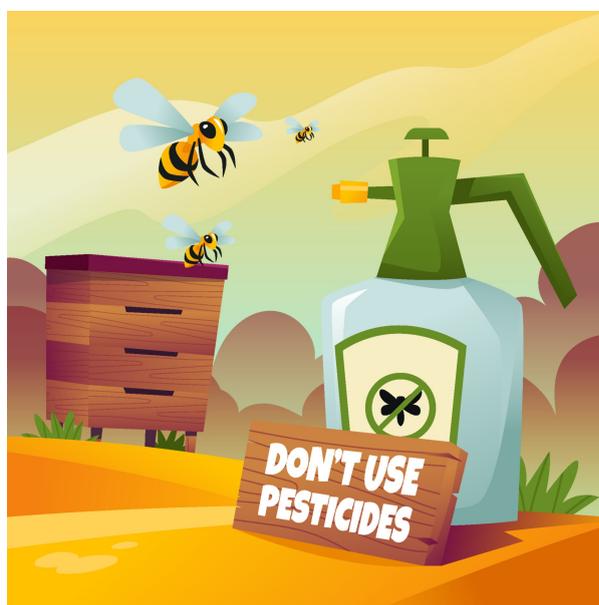


UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE ZOOTECNIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA
COMPONENTE CURRICULAR APICULTURA 2020.2



EMANUEL ISAQUE CORDEIRO DA SILVA

EFEITOS DOS AGROTÓXICOS SOBRE AS ABELHAS



EMANUEL ISAQUE CORDEIRO DA SILVA

EFEITOS DOS AGROTÓXICOS SOBRE AS ABELHAS

Trabalho elaborado e entregue à professora Dr^a Darcelet Teresinha dos Santos Malerbo, titular da disciplina de Apicultura do curso de Graduação em Zootecnia, como exigências para obtenção de nota para a cadeira.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. AS ABELHAS	2
3. MORTE DE ABELHAS NO BRASIL	4
4. AVALIAÇÃO ECONÔMICA DA PERDA DOS POLINIZADORES	5
5. EXPOSIÇÃO DE ABELHAS À AGROTÓXICOS	7
6. OS AGROTÓXICOS E AS ABELHAS	13
6.1 Organofosforados	15
6.2 Piretróides	16
6.3 Carbamatos	16
6.4 Pirazóis	17
6.5 Neonicotinóides	17
7. AGROTÓXICOS E SEUS EFEITOS NAS ABELHAS	19
7.1 Exemplos de efeitos subletais	19
7.1.1 Efeitos fisiológicos e de desenvolvimento	19
7.1.2 Mobilidade	20
7.1.3 Navegação e orientação	21
7.1.4 Comportamento alimentar	21
7.1.5 Capacidade de aprendizagem	22
7.2 Outros efeitos e implicações	22
8. RECOMENDAÇÕES	30
9. CONCLUSÕES	31
10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32

1. INTRODUÇÃO

O uso de agrotóxicos é uma prática comum na indústria agrícola para erradicar as pragas; sua utilização é crescente nas lavouras e, como consequência do uso indiscriminado desses venenos, muitos enxames têm sido dizimados em todas as regiões do Brasil. O consumo atual de agrotóxicos no país supera as 300 mil toneladas, e nos últimos 40 anos o aumento foi de 700%, enquanto que a área agrícola aumentou 78%.

Observa-se, em geral, que não há preocupação, por parte de quem aplica os agrotóxicos, de informar aos criadores de abelhas o período em que ocorrerá a pulverização para que as medidas de proteção sejam adotadas, o que resulta na morte deste inseto.

Descobriu-se que as abelhas fornecem serviços ecossistêmicos que são pouco valorizados em um nível produtivo e econômico e, de acordo com estimativas globais, suas populações estão em declínio. As abelhas exibem hipersensibilidade aos mais diferentes agrotóxicos (especialmente inseticidas). Além disso, sofrem diferentes alterações fisiológicas ao nível do sistema nervoso, no que diz respeito ao ciclo reprodutivo e à imunossupressão. Em conclusão, há evidências sobre os efeitos tóxicos de pesticidas que colateralmente alteram as culturas, especificamente no processo de polinização mediada por abelhas.

2. AS ABELHAS

“As abelhas estão chegando a um ponto crítico porque se espera que cumpram seu propósito em um mundo cada vez mais inóspito” (Spivak *et al.* 2010).

As abelhas são os maiores polinizadores de muitas plantas silvestres e monoculturas. Portanto, o seu nicho é fundamental para a produtividade do mundo agrícola e é evidente que as alterações nas suas populações podem levar a significativas perdas econômicas.

Ao forragear as plantas, em busca de alimento (pólen e néctar), as abelhas operárias campeiras promovem a reprodução cruzada dos vegetais, aumentando o vigor das espécies, possibilitando novas combinações de fatores hereditários e melhorando a produção de frutos e sementes. A polinização trata-se de um processo fundamental para a perpetuação das mais variadas espécies vegetais. Nesse sentido, a presença de polinizadores é imprescindível para o sucesso da reprodução das plantas em qualquer ecossistema, incluindo os agrícolas. Em torno de 75% das espécies vegetais existentes são dependentes de agentes polinizadores (água, vento, animais, etc); no entanto, as abelhas são consideradas os principais polinizadores, sendo responsáveis por realizar a reprodução cruzada de 73% de todas as espécies vegetais cultivadas no mundo.

Muitos fatores podem ser associados ao declínio das abelhas *Apis mellifera*, um único fator não pode ser responsável por todas as perdas observadas. Dentre eles, pode-se destacar: queimadas e desmatamento de áreas com vegetação nativa para implantação e/ou expansão de cidades ou áreas agrícolas, intensificando a agricultura e levando a perda do habitat das abelhas; e o uso inadequado de práticas de cultivo, como a utilização abusiva de agrotóxicos, principalmente nas áreas de monoculturas, sendo este último o fator mais impactante para os polinizadores. A implementação desse método de cultivo elimina consideravelmente muitas espécies de plantas nativas, as quais fornecem néctar, pólen, locais de descanso, nidificação e reprodução aos insetos. Normalmente, as monoculturas florescem por um curto período de tempo, reduzindo a disponibilidade de alimento e promovendo queda no número e diversidade de polinizadores.

A situação atual das abelhas é preocupante, porque o censo populacional diminuiu drasticamente devido ao amplo uso de pesticidas e agroquímicos em monoculturas técnicas que buscam aprimorar o rendimento da produção. Nos Estados Unidos, por exemplo, o número de colônias foi reduzido em 45%, de modo que uma diminuição foi estimada de 42 milhões para 24 milhões colmeias de abelhas ao longo de 60 anos. No entanto, dados recentes

mostram um ligeiro aumento no número de colônias de abelhas comerciais de aproximadamente 3% em 2017.

O impacto em grande escala nas populações em declínio de abelhas nativas teria um efeito negativo notável sobre produção de alimentos e biodiversidade vegetal. Assim, produtivamente, foi determinado que as abelhas polinizam 52 dos 115 principais produtos alimentícios cultivados na América do Norte e estimou-se que, para o ano de 2010, lucros econômicos alcançaram 212 bilhões dólares. Além disso, a produção apícola é representada por diversos produtos de alta demanda comercial em vários países, como mel, própolis, pólen e cera.

No Brasil, foi relatado contaminação no mel com resíduos de agrotóxicos, que correspondem principalmente a organofosforados (47,5%) e organoclorados (9,8%). Daqui, sugere-se que durante as práticas agrícolas se aplicam pesticidas como organofosforados em excesso, especialmente clorpirifós, que foi encontrado de forma residual em 36,1% dos méis analisados em diferentes trabalhos. A presença desses compostos, além de afetar a segurança dos alimentos, apresenta um risco para a saúde do consumidor e para a colmeia. Até mesmo o fato de ocorrer intoxicação humana por agrotóxicos mostra a elevada residualidade e bioacumulação dessas toxinas em áreas tropicais. Atualmente, no país algumas decisões do governo para aumentar a produção agrícola, ações militares para erradicar plantações ilícitas por meio da pulverização e da expansão da fronteira agrícola afetaram particularmente as abelhas.

3. MORTE DE ABELHAS NO BRASIL

No Brasil, a questão dos agrotóxicos é preocupante. Vários relatos sobre a mortandade de abelhas presumivelmente devido à contaminação pelo uso inadequado de pesticidas vêm sendo feitos (MALASPINA & SOUZA, 2008). A literatura brasileira é omissa em relação aos efeitos provocados por essas substâncias nas abelhas, pois os trabalhos com pesticidas abordam sua eficiência no controle de pestes ou, mais recentemente, as técnicas e práticas menos agressivas ao meio ambiente, mas sem a investigação relacionada aos polinizadores (PINHEIRO & FREITAS, 2010).

Malaspina *et al.* (2008) citam diversos relatos sobre a mortalidade súbita de abelhas em diferentes regiões do País, como no Piauí (município de Simplício Mendes), no interior do Rio Grande do Sul, em Minas Gerais e em São Paulo, onde foram descritos casos com perda de até 400 colmeias, mas ressalta que na maioria dos episódios não foi exequível a coleta de amostras para a comprovação da contaminação por agrotóxicos. Apesar disso, foi possível atestar que esses apiários estavam próximos a culturas de grande importância econômica, como citrus (em São Paulo), soja e tabaco (no Rio Grande do Sul).

Em Santa Catarina, um caso chamou a atenção por se tratar da morte de todas as colônias em dois apiários diferentes. Na inspeção do local, verificou-se que todas as abelhas estavam mortas, ao redor ou dentro da colmeia, 35 colônias foram dizimadas. Amostras foram coletadas e enviadas a um laboratório de análises toxicológicas, onde foi confirmada a intoxicação por inseticidas do grupo dos carbamatos (PINTO & MIGUEL, 2008). Em 2010, outro episódio associado ao uso de agrotóxico aconteceu no interior de São Paulo, onde mais de 250 colmeias morreram e cerca de 10 toneladas de mel foram contaminadas. Esse incidente foi consequência da aplicação incorreta do agrotóxico Fipronil, utilizado em uma plantação de laranja localizada próxima aos apiários atingidos (MALASPINA *et al.*, 2010).

Ainda em 2010, mais uma ocorrência associada à mortandade em massa de abelhas aconteceu no interior de São Paulo, onde mais de 500 mil abelhas foram dizimadas. Nesse caso, o envenenamento foi atribuído ao uso de um avião na pulverização de canaviais.

4. AVALIAÇÃO ECONÔMICA DA PERDA DOS POLINIZADORES

A polinização pode ocorrer pela ação do vento, gravidade e animais. No entanto, a maioria dos casos ocorre devido a animais (80%), dentro dos quais se encontram os pássaros, morcegos e insetos (KLATT *et al.*, 2013). Entre os insetos que mais contribuem para aumentar a rentabilidade das safras agrícolas destacam-se as abelhas nativas, abelhas melíferas, mangangavas, megachilidae, entre outros (HANLEY *et al.*, 2015; KLEIN *et al.*, 2003). Um estudo experimental com morangos indicou que o valor agregado da polinização mediada por abelhas é estimado em US \$320 milhões. Além disso, em termos produtivos, os frutos foram mais abundantes e melhor em termos de qualidade, peso, doçura e forma (KLATT *et al.*, 2014).

Diferentes estudos econômicos realizados nos Estados Unidos desde 1976 estimam que entre 15 a 30% dos alimentos cultivados resultaram direta ou indiretamente da polinização de espécies nativas. Posteriormente, em 1989, o serviço de polinização pelas abelhas foi calculado em 8,3 bilhões de dólares anuais, em 1992, um ganho estimado de 5,2 bilhões de dólares e no ano 2000 estimou-se a polinização das abelhas a um valor de 14,6 bilhões (LOSEY & VAUGHAN, 2006).

Na União Europeia, a polinização fornecida por abelhas na safra de morango, para o ano de 2009, foi quantificado em 2,9 bilhões de dólares e, mundialmente, o valor de polinização por insetos foi estimado em 212 bilhões de dólares; esta figura representada em torno 9,5% do valor total da produção agrícola global (MEIXNER *et al.*, 2010). A contribuição da polinização por abelhas nativas varia de acordo com a localização geográfica, disponibilidade de habitat natural e uso de agrotóxicos (LOSEY & VAUGHAN, 2006). Mais estimativas recentes estimam um serviço global de aproximadamente 215 bilhões de dólares na produção de alimentos, então a situação foi definida como “crise de polinização” (GOULSON, 2015). Estudos citados anteriormente evidenciam os efeitos devastadores dos agrotóxicos sobre a polinização e seu consequente alto custo econômico em sistemas agrícolas intensivos.

No Brasil, a polinização agrícola tem um valor anual de US\$ 12 bilhões (GIANNINI *et al.*, 2015). Mas o valor econômico não é o único; precisamos somar a ele os argumentos biológicos, culturais e morais. Foi enfatizada a importância de uma ação holística que permeia as medidas de impactos na biodiversidade, economia e sociedade.

É notório que, com a presença de abelhas, como de demais polinizadores, o mundo agrícola produzirá mais alimentos e haverá maior biodiversidade de plantas, uma vez que

haverá polinização e conseqüente disseminação de pólen de uma planta a outra havendo reprodução e posterior formação de frutos, grãos, sementes etc. Por outro lado, sem a presença das abelhas, o mundo agrícola entraria em colapso, haveria mudanças climáticas drásticas devido a menor biodiversidade de plantas e conseqüente pobreza, miséria e fome devido à menor produção agrícola de alimentos.

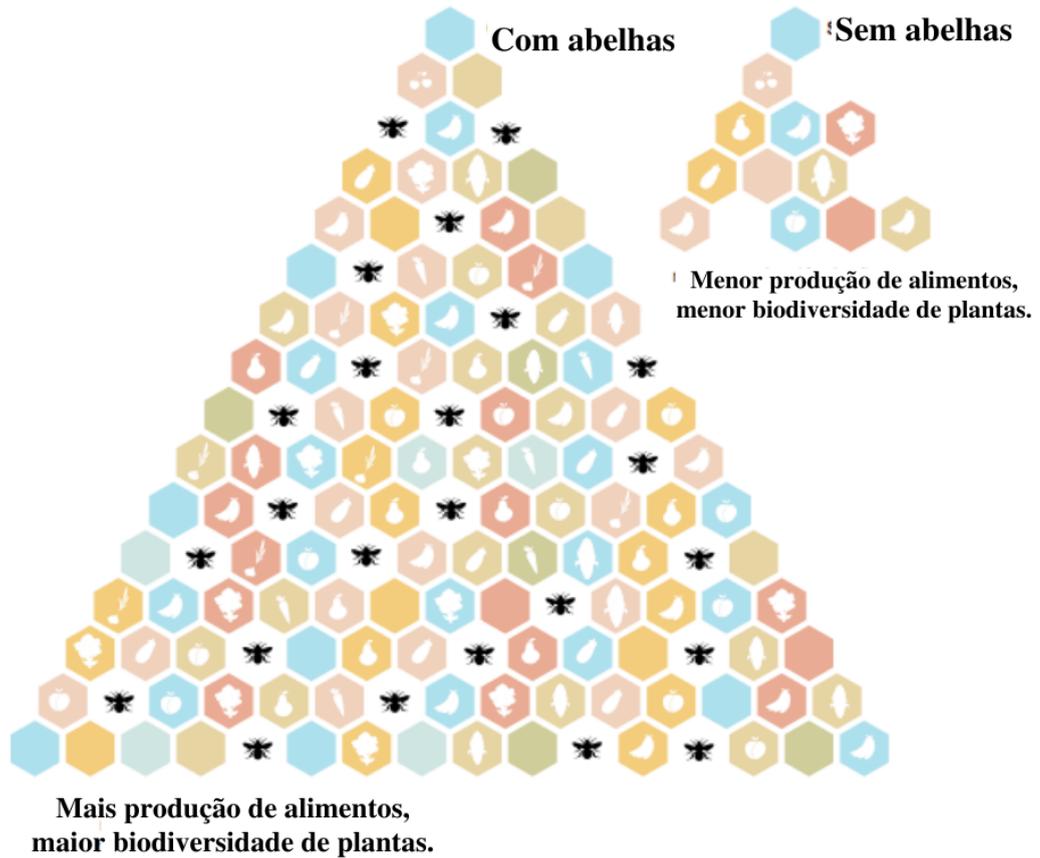


Figura 2: Representação da participação econômica dos polinizadores na América do Sul. Os valores expressos são em USD/ha.

5. EXPOSIÇÃO DE ABELHAS À AGROTÓXICOS

Para o caso específico das abelhas, geralmente adotam-se dois cenários de exposição aos agrotóxicos: na área tratada (*in crop*) e fora da área tratada (*of crop*).

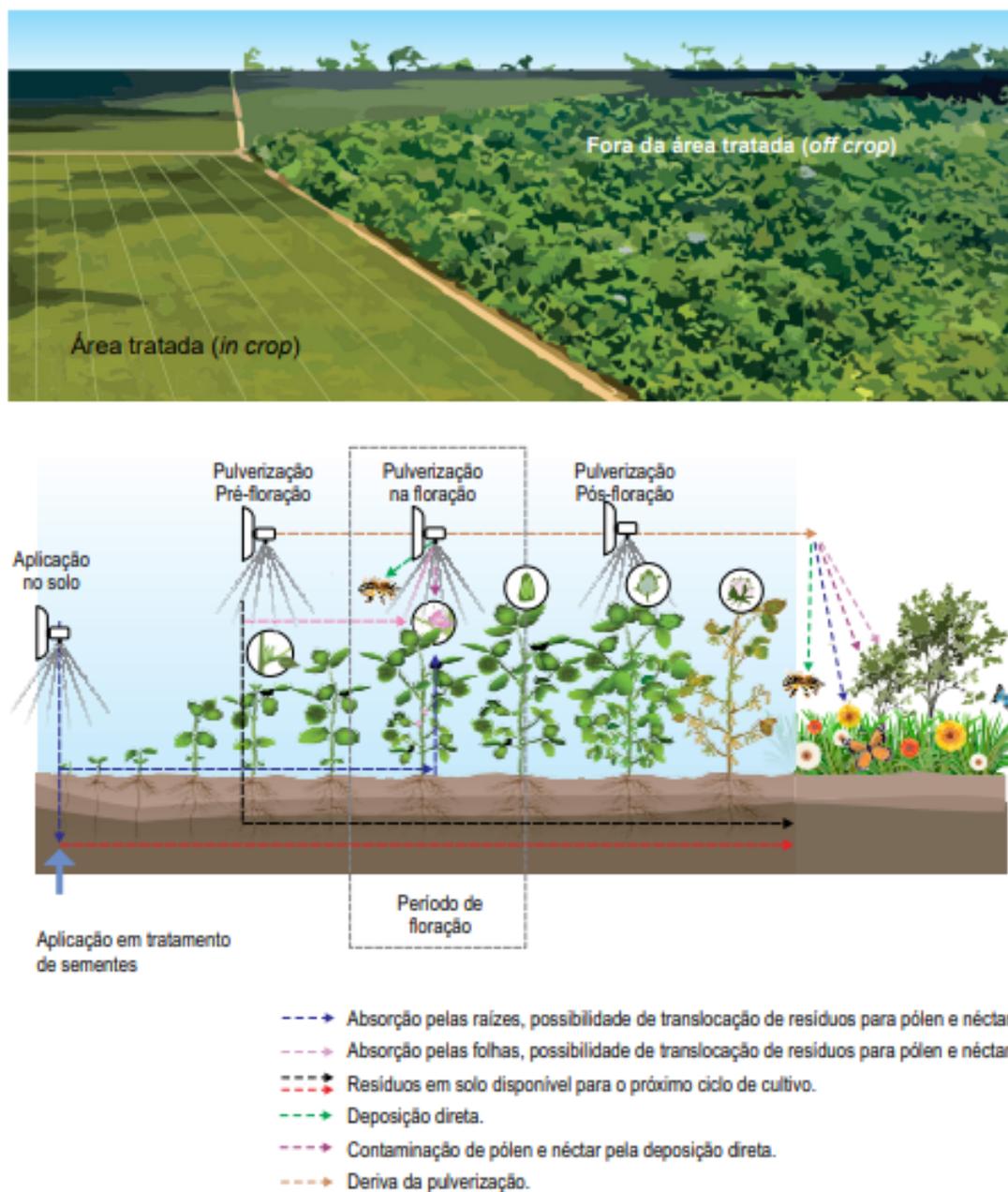


Figura 3: Representação esquemática dos cenários de exposição de abelhas a agrotóxicos.

A área tratada é a de plantio da cultura onde o agrotóxico é aplicado, visando ao controle de pragas. A área adjacente, que não faz parte do cultivo, é considerada fora da área tratada, mas pode ser atingida pela aplicação do produto na área tratada.

Em ambos os cenários, as abelhas podem estar expostas, principalmente pelas seguintes razões:

Área tratada:

- por causa do contato direto com a nuvem de pulverização, durante o forrageamento, dentro da área tratada. A probabilidade de forrageamento dentro da área é maior quando a cultura está em floração ou possui estruturas que oferecem recursos, como por exemplo, nectários;
- por causa do contato com as superfícies atingidas pela aplicação do produto na área tratada, por exemplo, resíduos nas folhas;
- por causa do consumo de néctar e de pólen contaminado, via deposição do produto aplicado por pulverização;
- por causa do consumo de néctar e de pólen contaminado pela translocação do produto aplicado nas sementes, no tronco ou no solo.

Fora da área tratada:

- durante o forrageamento, pelo contato direto com a deriva da pulverização ou com a deriva da poeira proveniente da semeadura de sementes tratadas;
- durante o forrageamento, pelo contato com as superfícies atingidas pela deriva da pulverização do produto ou pela deriva da poeira proveniente da semeadura de sementes tratadas;
- pelo consumo de néctar e de pólen contaminado, via deposição da deriva do produto aplicado por pulverização ou via deriva proveniente da semeadura de sementes tratadas ou, ainda, pela translocação de resíduos do produto aplicado no solo.

Na área tratada, tanto abelhas do gênero *Apis* como não *Apis* podem estar expostas. Todavia, estudos sugerem que a espécie *Apis mellifera* é a mais frequente e abundante em cultivos agrícolas.

Os modelos conceituais, a seguir, foram esquematizados de acordo com a característica do agrotóxico e o método de aplicação, e exemplificam, de forma genérica, as possíveis rotas de exposição e as hipóteses de risco.

A figura 4 apresenta um diagrama conceitual sobre a exposição de abelhas para agrotóxicos sistêmicos. Para agrotóxicos não sistêmicos aplicados via pulverização foliar, as rotas de exposição dominantes para abelhas forrageadoras incluem a deposição direta das gotas de pulverização sobre as abelhas, deposição sobre a superfície das plantas (flores, folhas) e sobre pólen, néctar e nectários extraflorais, seguido por contato e/ou ingestão dessas matrizes e inalação da fase gasosa do químico (para agrotóxicos altamente voláteis).

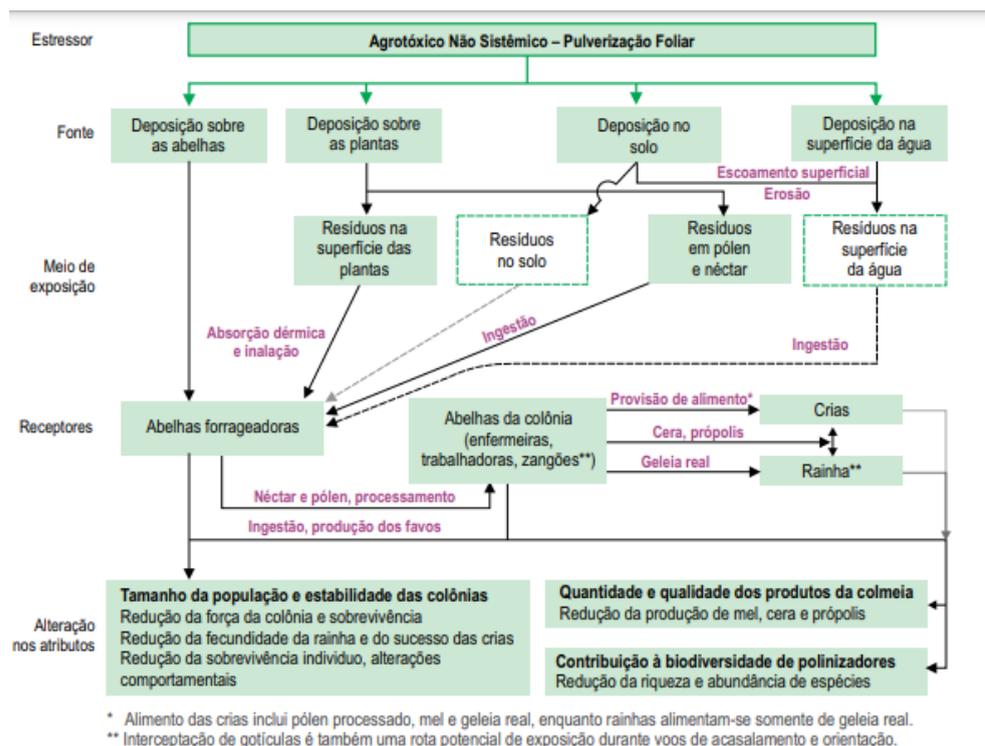


Figura 4: Modelo conceitual genérico para agrotóxicos não sistêmicos aplicados por pulverização na avaliação de risco para abelhas.

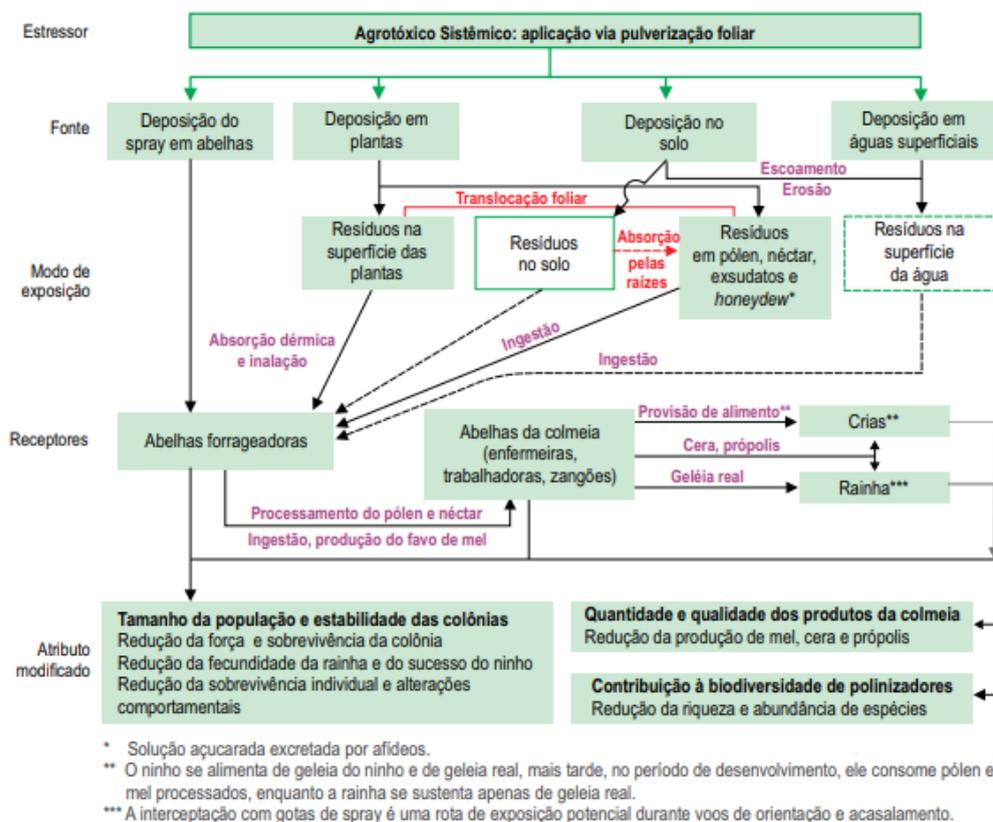


Figura 5: Modelo conceitual genérico para agrotóxicos sistêmicos aplicados por pulverização na avaliação de risco para abelhas.

Para agrotóxicos sistêmicos aplicados via pulverização foliar, as rotas de exposição para abelhas incluem muitas das dos agrotóxicos não sistêmicos anteriormente descritas, mas apresentam algumas exceções importantes. Em primeiro lugar, a deposição sobre a superfície das plantas e do solo pode levar a translocação de agrotóxico para outros tecidos da planta, contribuindo para maiores quantidades de resíduos de agrotóxicos em pólen e néctar. Para agrotóxicos sistêmicos, o tempo de exposição pode ser maior comparado a aplicações similares de agrotóxicos não sistêmicos. Em segundo lugar, a presença de resíduos de agrotóxicos nos exsudatos da planta também tem o potencial de tornar-se rota relevante de exposição.

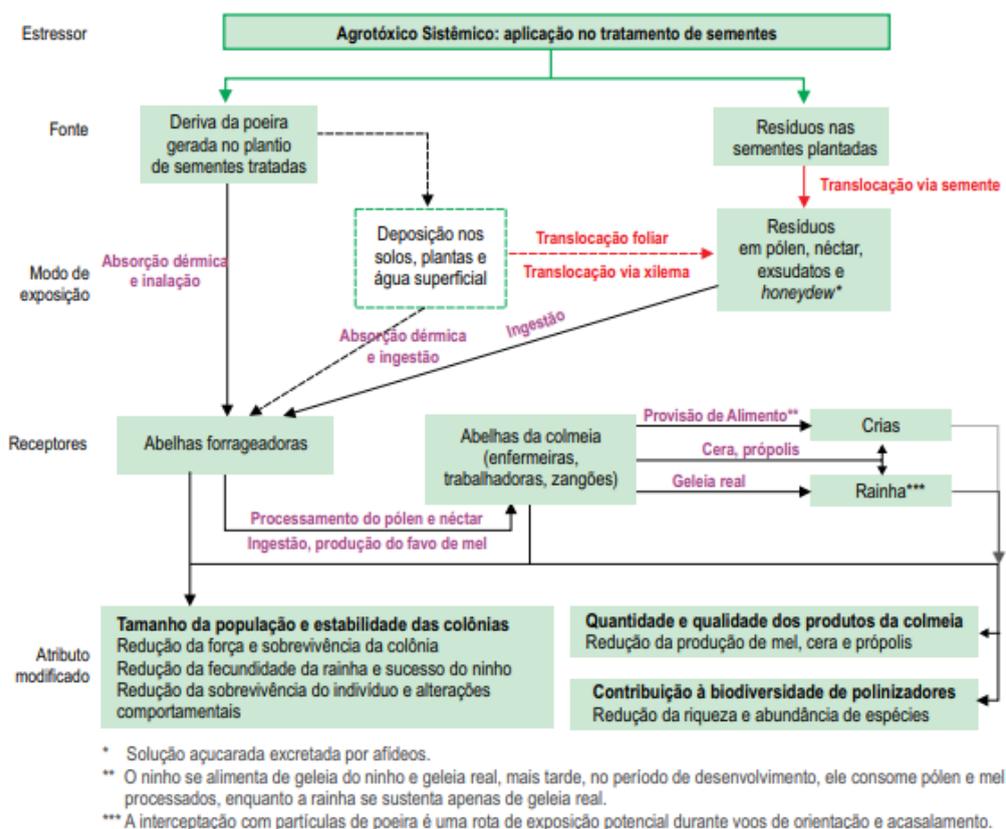


Figura 6: Modelo conceitual genérico para agrotóxicos sistêmicos empregados no tratamento de sementes, na avaliação de risco para abelhas.

As maiores rotas de exposição para as abelhas aos agrotóxicos sistêmicos usados como tratamento de sementes incluem pólen, néctar, exsudatos provenientes da translocação, a partir da semente para os tecidos da planta em crescimento. Outra rota de exposição importante é o contato com a poeira proveniente da abrasão das sementes tratadas com o maquinário durante o plantio.

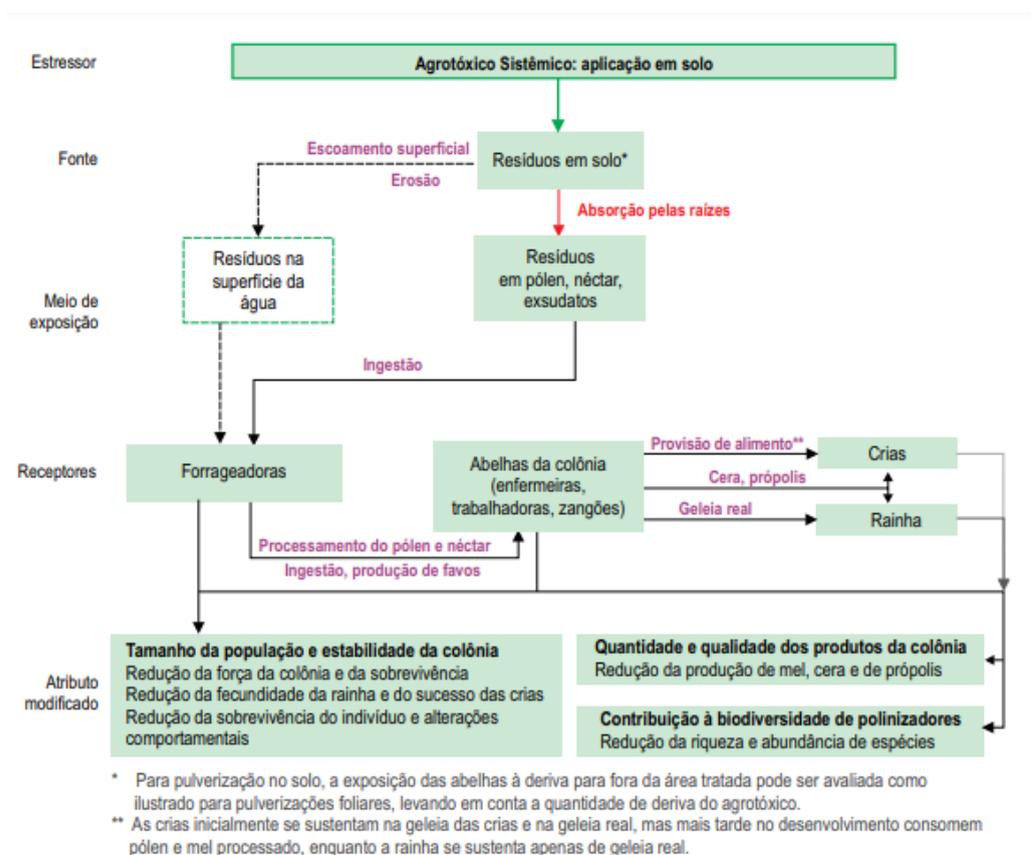


Figura 7: Modelo conceitual genérico para agrotóxicos sistêmicos aplicados no solo, para uso na avaliação de risco para abelhas.

Os agrotóxicos sistêmicos também são utilizados via aplicação no solo. A exposição das abelhas aos agrotóxicos, por esse tipo de aplicação, decorre da translocação da substância para os tecidos da planta e posterior aparecimento em matrizes que servem de alimento para as abelhas, tais como pólen, néctar, exsudatos, fluido de gutação e secreção açucarada. Para aplicação no solo, existe também uma exposição potencial via escoamento superficial e subsequente translocação para plantas adjacentes ao campo tratado (figura 7).

Os agrotóxicos sistêmicos também são aplicados menos comumente via rega em tronco ou injeção no tronco. A exposição das abelhas por essa via é possível pela translocação da substância para os tecidos das plantas e posterior aparecimento em pólen, néctar, exsudatos, fluido de gutação e secreção açucarada (figura 8).

Embora várias rotas de exposição sejam possíveis, as rotas por contato e pela via oral por consumo de néctar ou pólen contaminados são as mais significativas e, por esse motivo, considera-se que a avaliação delas abrange as demais (figura 9).

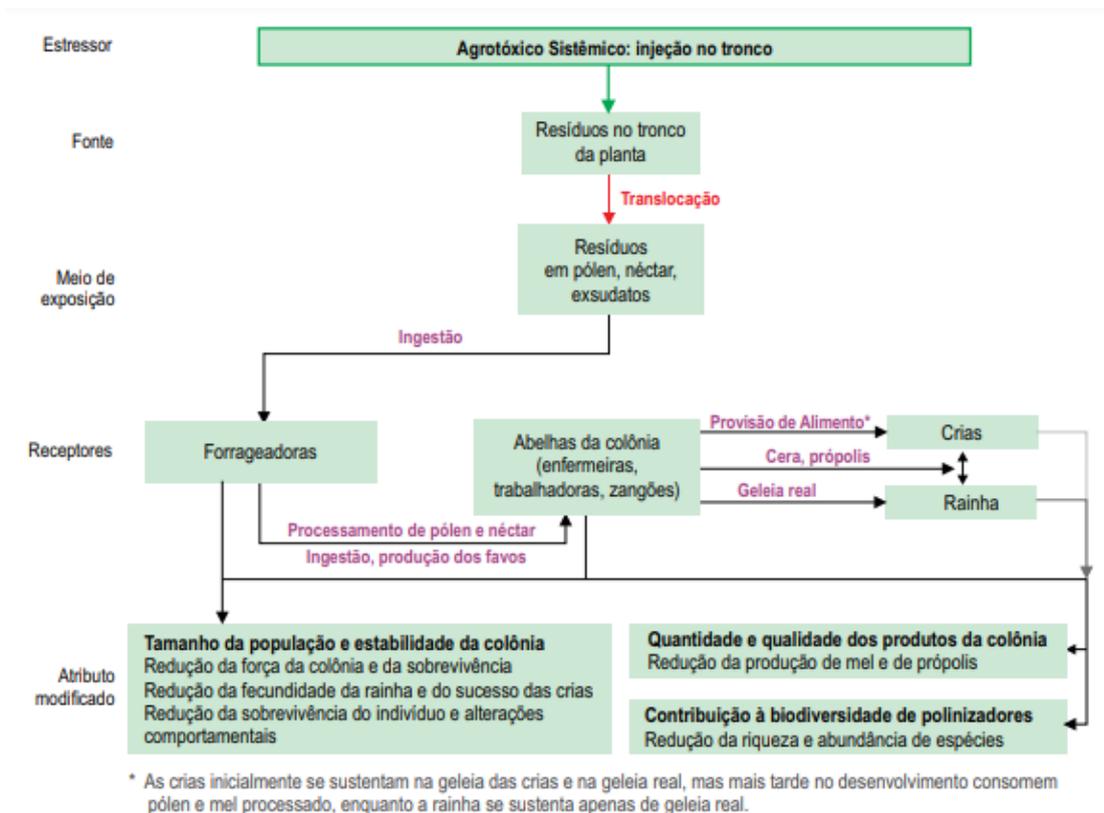


Figura 8: Modelo conceitual genérico para agrotóxicos sistêmicos aplicados por injeção no tronco, para uso na avaliação de risco para abelhas.

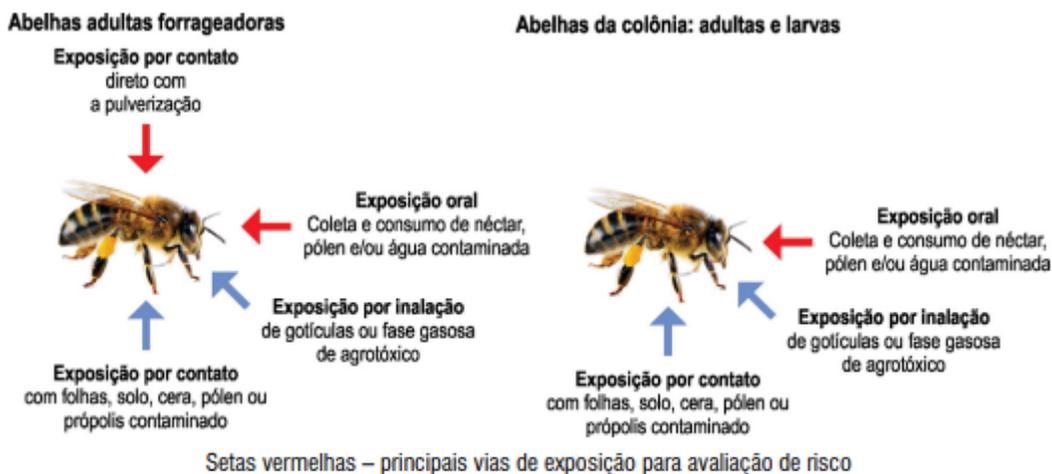


Figura 9: Principais rotas de exposição das abelhas aos agrotóxicos.

6. OS AGROTÓXICOS E AS ABELHAS

Com o crescimento da agricultura nos últimos anos, ocorreu proporcionalmente o aumento do uso de agrotóxicos nas lavouras e, conseqüentemente, a geração de impactos na saúde humana, animal e no meio ambiente. No Brasil, a utilização de agrotóxicos é regulada pela Lei 7.802/89, que infelizmente não é cumprida em sua totalidade.

A ocupação dos campos de cultivo por uma única espécie vegetal favorece o aparecimento de pragas e doenças, o que torna a agricultura moderna cada vez mais dependente do uso de agrotóxicos. Estes produtos podem entrar na cadeia solo-água-plantas, representando uma perigosa fonte direta e indireta de contaminação para as abelhas e outros seres vivos. A apicultura, no entanto, é uma atividade dependente das plantas cultivadas ou da mata local como fonte de néctar e pólen, ficando as abelhas expostas aos poluentes que são liberados no ambiente em que vivem, causando intoxicação e contaminação de seus produtos. Com isso, devido a dependência da produção agrícola por agrotóxicos, novos defensivos surgem para aumentar a produtividade das culturas, e podem estar relacionados com a Desordem do Colapso das Colônias (CCD).

O Brasil é um dos maiores consumidores de agrotóxicos do mundo. Em 2006 atingiu o patamar de terceiro maior consumidor mundial, e em 2008 assumiu a liderança, superando os Estados Unidos. Neste mesmo ano, o Brasil consumiu 730 milhões de toneladas de agrotóxicos. Em 2020, o país aprovou e registrou 493 novos agrotóxicos.

Os agrotóxicos são substâncias produzidas naturalmente ou industrialmente para destruir organismos potencialmente prejudiciais a plantas cultivadas e/ou animais de produção. Da mesma forma, eles são classificados como de acordo com o tipo de praga que controlam em: inseticidas (contra insetos), herbicidas (ervas daninhas da flora), rodenticidas (roedores), bactericidas (bactérias), fungicidas (fungos) e larvicidas (larvas). Essas substâncias podem ser tóxicas para as espécies que compartilham o local de fumigação e, dependendo da dosagem, podem ter ação letal ou subletal; ao mesmo tempo, ficam residualmente no meio ambiente. A alteração nas populações de abelhas é um claro dano colateral derivado do uso de agrotóxicos e, conseqüentemente, eles poderiam ser indicadores biológicos de seu efeito prejudicial a nível ecológico e ambiental. De modo que a interação das abelhas com o agrotóxico não só causa a morte, mas pequenas quantidades podem produzir efeitos subletais capazes de deteriorar a saúde de toda a colmeia (figura 8).

Em geral, para as abelhas, os agrotóxicos induzem alterações fisiológicas a nível social refletidas em mudanças de comportamento, dificuldades na localização do alimento,

comunicação e retorno ao lugar onde habita. Especificamente em insetos, mudanças fisiológicas foram relatadas no desenvolvimento embrionário e no aparecimento de mutações. Por exemplo, o acetamiprid demonstrou afetar o desenvolvimento predador embrionário em *Eriopsis connexa*, reduzindo a incubação de ovos em até 100% (FOGEL *et al.*, 2013). Da mesma forma, foi relatado que o glifosato causa mutações na prole e está associada a perda de peso em *Chrysoperla externa* (SCHNEIDER *et al.*, 2009). O uso desses agroquímicos afeta a navegação e o comportamento dos insetos, porque estas funções são completamente dependentes de transmissões nervosas (CONICET, 2009). Pesticidas do tipo clorpirifós podem limitar a capacidade imunológica de insetos como *Drosophila melanogaster* para responder a certas infecções parasitárias (DESNEUX *et al.*, 2007). Em todo os casos o uso extensivo de inseticidas altamente tóxicos, e com diferentes alvos de ação em monoculturas, poderia gerar danos alternativos nas populações benéficas de insetos como as abelhas.

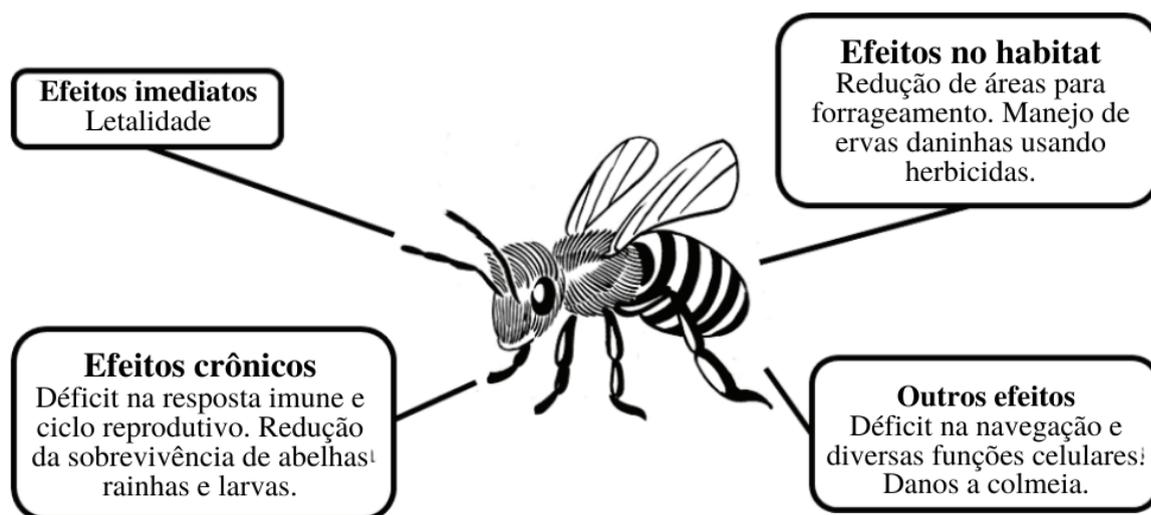


Figura 10: Efeitos dos agrotóxicos sobre as abelhas (*Apis mellifera*).

Alguns comportamentos das abelhas podem fornecer indícios de que a colmeia está sendo afetada por substâncias tóxicas, tais como:

- grande número de abelhas mortas nas proximidades das colônias;
- decréscimo na produção de progênie;
- diminuição da atividade de forrageamento;
- irritabilidade excessiva;
- autolimpeza excessiva;
- incapacidade de substituição natural da rainha;
- mortalidade das larvas;
- má formação das larvas.

De modo geral, os inseticidas (aproximadamente 90%) são neurotóxicos, ou seja, danificam o sistema nervoso central, especificamente na transmissão dos impulsos nervosos pelas células nervosas. A condução do impulso nervoso ao longo das células nervosas é dependente da concentração dos íons Na^+ , K^+ e Cl^- ; entretanto, para os estímulos nervosos serem propagados de uma célula para outra (sinapses) é necessária a ação de neurotransmissores. A acetilcolina e o ácido gama-aminobutírico (GABA) são os principais neurotransmissores dos insetos.

A enzima acetilcolinesterase interrompe a transmissão dos impulsos nervosos por meio da hidrólise da acetilcolina em colina e acetato. Os inseticidas das classes dos organofosforados e carbamatos são inibidores da acetilcolinesterase, ocasionando acúmulo de acetilcolina nas sinapses nervosas, sendo o sistema nervoso superestimulado, ocorrendo impulsos contínuos e descontrolados, levando a hiperexcitação do sistema nervoso central e morte do animal.

6.1 Organofosforados

Os inseticidas organofosforados apresentam toxicidade variável de baixa à alta para animais superiores e são, normalmente, bem mais tóxicos para vertebrados do que os organoclorados. Esses agrotóxicos causam severos danos ao sistema nervoso dos indivíduos contaminados, inibindo irreversivelmente a ação da enzima acetilcolinesterase. Neste tipo de inibição as enzimas são definitivamente inativadas, destruindo seus grupos funcionais essenciais, sendo progressiva, ou seja, aumentando com o tempo, até atingir seu máximo.

A toxicidade dos agrotóxicos organofosforados às abelhas *A. mellifera* é relatada por diversas pesquisas. Verificou que esses inseticidas interferem na divisão de trabalho da colmeia, diminuindo a longevidade do enxame em até 20% (SMIRLE, 1993). Pettis *et al.* (2004), aplicaram diferentes doses do inseticida Coumafós em realeiras contendo larvas de abelha rainha; aquelas que receberam a dose de 1 g/kg não se desenvolveram, 50% das realeiras tratadas com 100 mg/kg foram rejeitadas pelas operárias e o restante apresentou baixo peso corporal. Guez *et al.* (2005) observaram que o inseticida organofosforado Metil Paration, aplicado topicamente na dose de 10 mg/abelha, causou diminuição da frequência de visitação à fonte de alimento. Freitas & Pinheiro (2010) relataram que os organofosforados afetam a habilidade das abelhas em comunicar às outras abelhas da colmeia o local da fonte de alimento por meio da “dança do oito”, por impedir a orientação do ângulo.

Atkins e Kellum (1986) verificaram que os inseticidas Dimetoato e Malathion podem causar defeitos morfogênicos em adultos de *A. mellifera* expostos na fase de larva, tais como

pequeno tamanho do corpo, malformação ou diminuição do tamanho das asas, deformação das pernas e das asas. A exposição aos inseticidas Acefato, Dimetoato e Fenton culminou na incapacidade das colônias para reelegerem rainhas (STONER *et al.*, 1982, 1983, 1985).

Alguns autores demonstraram a toxicidade do inseticida Acefato às abelhas *A. mellifera*. Batista *et al.* (2009) expuseram abelhas operárias à dose de 7,5 µg do inseticida Acefato por meio de contato, pulverização e alimento contaminado. Os autores verificaram, em todos os tratamentos, que após 24h de exposição, mais de 90% das abelhas contaminadas foram mortas, concluindo que o acefato foi altamente tóxico.

6.2 Piretróides

Decourtye *et al.* (2004) investigaram os efeitos da Deltametrina em abelhas operárias, e verificaram que o inseticida diminuiu a atividade de forrageamento, além de apresentar efeito letal para abelhas operárias. Carvalho *et al.* (2009) constataram que a pulverização de Deltametrina em abelhas (na concentração de 50 ml de deltametrina em 100 ml de água), fez com que os insetos ficassem no fundo das colmeias com movimentos desordenados e trêmulos, características atribuídas ao efeito de choque, o qual também é caracterizado por agir com rapidez, causar paralisia e mortalidade dos indivíduos contaminados. Além disso, também observaram que abelhas tratadas com alimento contaminado e abelhas que entraram em contato com superfícies contaminadas com deltametrina, tiveram letalidade registrada de 67% e 64%, respectivamente, demonstrando a toxicidade deste piretróide às abelhas *Apis mellifera*. Dai *et al.* (2010), verificaram que a deltametrina, em doses subletais, reduziu a fecundidade da abelha rainha e diminuiu o ritmo de desenvolvimento das abelhas jovens até a idade adulta. Doses subletais de deltametrina afetam a coordenação e a musculatura das abelhas, comprometendo o retorno à colmeia.

Bendahou *et al.* (1999) verificaram aumento na taxa de reposição de rainhas em colônias de abelhas *Apis mellifera* tratadas com dietas contendo doses subletais de Cipermetrina, provavelmente devido à interferência do inseticida sobre a capacidade das abelhas identificarem o feromônio liberado pela rainha.

6.3 Carbamatos

Nation *et al.* (1986) submetem abelhas melíferas à exposição crônica por carbamatos via dieta artificial, e constataram que os inseticidas afetaram a divisão de trabalho nas colmeias. Helson *et al.* (1994) estudaram a toxicidade do Carbaril a quatro espécies de abelhas da ordem Hymenoptera e superfamília Apoidea (*Apis mellifera*, *Andrena erythronii*,

Megachile rotundata e *Bombus terricola*), e concluíram que a *Apis mellifera* é mais suscetível ao carbaril quando comparada com as outras espécies. Akca *et al.* (2009) fizeram um estudo para examinar a toxicidade de sete inseticidas (Lambda-cialotrina, Furatiocarbe, Carbaril, Carbosulfan, Benfuracarb, Metiocarbe e Azadiractina) às abelhas *Apis mellifera*; além de apresentar efeito nocivo aos animais testados, o Carbaril mostrou efeitos tóxicos mais rapidamente que os outros inseticidas.

Khan *et al.* (2004) encontraram resíduos de Carbaril em amostras de mel provenientes de colmeias de *Apis mellifera* na Índia. Mullin *et al.* (2010) encontraram, entre os anos de 2007 e 2008, em apiários de 23 estados Norte-Americanos, altos níveis de Carbaril na cera e no pólen, inferindo que a presença desses venenos contribuem para o declínio dos polinizadores.

6.4 Pirazóis

Hassani *et al.* (2005) estudaram a influência de doses subletais de fipronil na aprendizagem olfativa de abelhas *Apis mellifera* L., e verificaram redução significativa à dose de 10 mg/abelha, aplicada topicamente. Os autores evidenciaram que o neurotransmissor GABA está intimamente relacionado com a percepção olfativa das abelhas. Abelhas recém-nascidas expostas a doses subletais de Fipronil, por contato e ingestão, apresentaram comprometimento na aprendizagem olfatória; aquelas tratadas morreram após 7 dias de exposição ou ingeriram mais água que os outros tratamentos e apresentaram seus movimentos comprometidos, permanecendo muito tempo imóvel (ALIOUANE *et al.*, 2009).

6.5 Neonicotinóides

Skerl & Gregorc (2010) fizeram avaliações histológicas nas glândulas hipofaríngeas de abelhas operárias, verificando que o inseticida induziu uma necrose extensa após 48 horas do tratamento, com 50% das células em apoptose e aumento gradativo para 100% após 72 horas. Gregorc & Ellis (2011) investigaram as células do intestino médio de larvas de *Apis mellifera* L. e observaram 66% de morte celular apoptótica em larvas que receberam alimento contaminado com o inseticida. Heylen *et al.* (2011) constataram que o consumo de alimento com doses subletais de Imidacloprido causou diminuição no volume das glândulas hipofaríngeas em abelhas operárias após 7 dias de tratamento.

Kirchner (1998), citado por Schmuck (1999), observou que o inseticida Imidacloprido afetou o padrão da dança do oito, apresentando fraco efeito na precisão da direção e significativo efeito na distância comunicada da fonte de alimento pelas abelhas forrageadoras

para as da colônia. O Imidacloprido pode também afetar o comportamento das forrageiras de *Apis mellifera* dificultando seu retorno à colônia (BORTOLOTTI *et al.*, 2003), além de reduzir a movimentação, a mobilidade e a capacidade de comunicação das abelhas, o que também interfere em suas atividades sociais (DECOURTYE; LACASSIE; PHAM-DELEGUE, 2003).

Schmuck *et al.* (2001) estudaram o efeito da exposição crônica de doses subletais de Imidacloprido, via dieta, e constataram que afetou o ciclo de postura de ovos da rainha e a quantidade de larvas e pupas de *Apis mellifera*. Lambin *et al.* (2001), por meio do teste de locomoção, verificaram que abelhas tratadas topicamente apresentaram atividade locomotora significativamente diminuída. Decourtye *et al.* (2004) relataram que o Imidacloprido reduziu a percepção olfativa e a atividade de voo em abelhas operárias expostas a doses subletais. O Imidacloprido também afetou o tempo de desenvolvimento de larvas até a fase adulta, quando houve consumo de alimento contaminado. Schneider *et al.* (2012) observaram redução significativa de voo e da atividade de forrageamento em abelhas melíferas operárias tratadas com alimento contaminado com dose subletal.

7. AGROTÓXICOS E SEUS EFEITOS NAS ABELHAS

Os agrotóxicos são classificados de acordo com o composto ativo, em organofosforados, piretrinas, carbamatos (que são inibidores da enzima acetilcolinesterase) e piretróides sintéticos e organoclorados, que bloqueiam os canais iônicos neuronais.

O uso desses produtos impacta inespecificamente diferentes espécies de insetos, incluindo abelhas, cujos processos de desintoxicação não são eficazes para tolerar a exposição a esses agroquímicos.

Os agrotóxicos afetam a atividade celular normal em todo o ciclo de vida da abelha em funções celulares, como síntese, transporte, produção de energia e ação ou a eliminação de hormônios ou enzimas.

Os efeitos dos inseticidas sobre as abelhas podem ser descritos como imediato ou letal quando grave e rápido e causa rápida mortalidade; e subagudo ou subletais quando não causam mortalidade na população experimental, mas podem causar efeitos fisiológicos ou comportamentais de longo prazo. Por exemplo, distúrbios na capacidade de aprendizagem, em comportamento ou outros aspectos neurofisiológicos (DESNEUX *et al.*, 2007).

Existem abundantes exemplos de efeitos subletais documentados (DESNEUX *et al.*, 2007), que podem ser classificados em quatro principais grupos de acordo com sua natureza:

- 1) Efeitos fisiológicos, em vários níveis. Eles têm medido, por exemplo, em termos de taxas de desenvolvimento (o tempo necessário para atingir a idade adulta) e em malformação, por exemplo, nas células dos favos.
- 2) Alteração do padrão de forrageamento. Com efeitos evidentes, por exemplo, na aprendizagem e na orientação.
- 3) Interferências no comportamento alimentar, por meio de efeitos repelentes, que inibem a alimentação ou capacidade olfativa reduzida.
- 4) Impacto de pesticidas neurotóxicos sobre processos de aprendizagem. Por exemplo, têm encontrado problemas no reconhecimento de flores e colmeias, de orientação espacial muito relevante e que foram estudados e amplamente identificados na abelha.

7.1 Exemplos de efeitos subletais

7.1.1 Efeitos fisiológicos e de desenvolvimento

Testes de laboratório mostraram que o piretróide deltametrina afeta uma ampla variedade de funções celulares de abelhas. Por exemplo, causando disfunções notáveis nas células do coração, com mudanças na frequência e força das contrações cardíacas. Além

disso, associado ao procloraz, têm mostrado afetar a termorregulação e causar hipotermia em abelhas, embora este efeito não seja visto se a deltametrina é usada por conta própria (DESNEUX *et al.*, 2007).

Exposição a baixas concentrações subletais do o tiametoxam neonicotinóide pode causar nas abelhas africanizadas deficiências nas funções cerebrais e intestinal, e contribuir para encurtar seu ciclo de vida (OLIVEIRA *et al.*, 2013).

O neonicotinóide imidaclopride mostrou efeitos prejudiciais, mesmo em doses muito baixas, no desenvolvimento de colônias de abelhas e especialmente em suas rainhas (WHITEHORN *et al.*, 2012). As abelhas que se alimentam de alimentos contaminados com pequenas quantidades de imidacloprides enfraquecem e, como resultado, suas colônias são menores (entre 8% e 12% menores). O que é mais importante, isso resulta em uma diminuição desproporcional no número de rainhas: uma ou duas, em comparação com quatorze encontrados em colônias sem agrotóxicos. As rainhas são críticas para a sobrevivência da colônia, pois são os únicos indivíduos que sobrevivem ao inverno e podem fundar colônias na primavera seguinte (WHITEHORN *et al.*, 2012).

Um estudo de laboratório publicado (HATJINA *et al.*, 2013) mostrou que a exposição a doses subletais do neonicotinóide imidacloprida resultaram em mudanças marcantes no padrão respiratório de abelhas, e também nas glândulas hipofaríngeas, que não cresceram tanto quanto nas abelhas não tratadas. Os pesquisadores concluíram que era importante incluir impactos fisiológicos da exposição a imidacloprida entre outras medidas, pois tiveram implicações tanto no nível individual como em termos de toda a colônia.

7.1.2 Mobilidade

A observação no laboratório mostrou que neonicotinóide imidaclopride afetou a mobilidade de abelhas em doses baixas. Este efeito dependia da dose e mudou ao longo do tempo (SUCHAIL *et al.*, 2001; LAMBIN *et al.*, 2001), o que revela que o período da observação pode ser crucial para detectar alguns dos efeitos mais sutis dos inseticidas.

Em outro experimento de laboratório, doses subletais de imidaclopride causaram reduções significativas na mobilidade. As abelhas eram menos ativas do que as não tratadas, embora o efeito fosse transitório. As abelhas também demonstraram uma perda da capacidade de comunicação, o que poderia ter efeitos profundos em seu comportamento social (MEDRZYCKI *et al.*, 2003).

7.1.3 Navegação e orientação

Para alguns polinizadores, o aprendizado visual de pontos de referência são importantes para orientação espacial. Por exemplo, as abelhas usam referências visuais para voar para uma fonte de alimento, bem como comunicar com precisão ao resto da colônia a distância e direção em que encontra-se. Os pesticidas podem afetar tanto o aprendizado de padrões visuais durante o forrageamento, bem como a comunicação dessas informações.

O piretróide deltametrina demonstrou alterar a viagem de retorno de forrageadoras tratadas topicamente com doses subletais, reduzindo o número de voos de volta à colmeia (VAN DAME *et al.*, 1995).

Um estudo recente muito complexo, realizado sob condições semi-naturais com abelhas melíferas, mostrou que aquelas que se alimentam de pólen ou néctar contaminado com o neonicotinóide tiametoxam, mesmo em doses muito baixas, podem se perder no caminho de volta para a colmeia. Como resultado, eles têm o dobro de chances de morrer em um dia, enfraquecendo a colônia e o colocando em maior risco de colapso (HENRY *et al.*, 2012).

O impacto de baixas concentrações do neonicotinóide imidaclopride na dança do oito das abelhas, que ficam para trás em voos de alimentação e se perdem é maior quando fornecem doses subletais do inseticida (YANG *et al.*, 2008).

O forrageamento das abelhas melíferas diminuiu entre 20% e 60% quando exposto ao neonicotinóide imidaclopride ou à deltametrina piretróide. A Deltametrina também causou mudanças na capacidade de aprendizagem (RAMIREZ-ROMERO *et al.*, 2005).

7.1.4 Comportamento alimentar

No caso das abelhas, distúrbios no comportamento alimentar podem causar drásticos declínios na população de colmeias. Na maior parte de grandes áreas agrícolas, nas quais recursos alimentares são reduzidos a colheitas, o efeito repelente de pesticidas pode reduzir a colheita pólen e néctar, o que pode levar a uma diminuição demográfica da colônia.” (DESNEUX *et al.*, 2007).

A exposição a agrotóxicos pode reduzir a capacidade das abelhas de detectar fontes de alimento. Por exemplo, fipronil aplicado topicamente em baixas concentrações para abelhas diminuíram sua capacidade de perceber baixas concentrações de sacarose em 40% em comparação com as abelhas não tratadas (HASSANI *et al.*, 2005).

O imidaclopride repele alguns outros polinizadores (besouros e moscas), além das abelhas, então a exposição destes poderia ser menor. Mas, como resultado, eles podem morrer de fome se os únicos alimentos disponíveis forem provindas de colheitas tratadas com imidaclopride em regiões agrícolas. Além disso, se os insetos evitam visitar flores de colheitas tratadas, este poderia afetar adversamente o desempenho de colheitas, dependendo da força da resposta e da abundância de polinizadores (EASTON & GOULSON, 2013).

7.1.5 Capacidade de aprendizagem

Os efeitos dos agrotóxicos nos processos de aprendizagem têm sido objeto de vários estudos sobre as abelhas, dada a importância do aprendizado pela eficácia do forrageamento, e porque oferecem um sistema razoavelmente conhecido (DESNEUX *et al.*, 2007). A aprendizagem e a memória olfativa em abelhas melíferas têm papel fundamental em sua estratégia de alimentação e na eficácia do forrageamento, tanto no individual quanto na colônia. Portanto, o impacto de exposição de longo prazo a baixas concentrações de agrotóxicos podem ser críticos para a saúde das colônias.

Em condições de laboratório, os neonicotinóides tiametoxam e fipronil em doses subletais reduzem a memória olfativa das abelhas. As abelhas foram incapazes de discriminar entre um odor conhecido e um desconhecido. Abelhas tratadas com fipronil também ficaram mais tempo imóveis (ALIOUANE *et al.*, 2009).

7.2 Outros efeitos e implicações

Como consequência, a hipersensibilidade das abelhas aos agrotóxicos pode aumentar a letalidade aos efeitos subletais na fase larval, devido à exposição prolongada. Assim, o envenenamento em larvas de abelhas por pesticidas clorpirifós, imidaclopride, myclobutanil, simazine, glifosato e fluvalinato está associado com uma alta taxa de mortalidade. No nível sistêmico, vários estudos documentaram o efeito sobre funcionalidade do sistema nervoso, resposta imunológica e ciclo reprodutivo.

Em relação à funcionalidade das células nervosas, o uso de agrotóxicos como o clorpirifós tem efeito neuro-oxidativo, aumentando a formação de malondialdeído, que é um indicador de estresse oxidativo como resultado de danos celulares (REHMAN *et al.*, 2012). Por outro lado, o uso de piretróides como esfenvalerato, lambda cialotrina, permetrina e fluvalinato estão associados à perda de movimento e coordenação das abelhas, causando paralisia e convulsões (INGRAM *et al.*, 2015).

Agrotóxicos poluentes em recursos florais afetam os processos de aprendizagem fundamentais para orientação e reconhecimento do meio ambiente. Isso ocorre porque os pesticidas atingem as principais vias neurais das abelhas e processos de interrupção de aprendizagem, memória, navegação e certas funções cognitivas (KLEIN, 2017). No caso das abelhas forrageiras, os pesticidas causam desorientação com traços de imidaclopride e o uso de outros neonicotinóides, como clotianidina e tiaclopride que geram desorientação em abelhas forrageiras, dificultando seu retorno à colmeia. A exposição aos agrotóxicos também pode interferir em outras interações das abelhas, como tem sido demonstrado pelo uso de altas doses de permetrina e imidaclopride, que diminui entre 10,5 e 4,5 vezes a dança da abelha, respectivamente (INGRAM *et al.*, 2015). As abelhas operárias podem sofrer distúrbios de comunicação do local onde encontram a comida e na detecção do cheiro de néctar e a sensibilidade à sacarose. Estes achados são consistentes com estudos que mostram o efeito de glifosato em aumentar os limiares de resposta ao açúcar, além do fato de que combinações de pesticidas coumaphos com redução da memória olfativa, gerando transtornos alimentares (HERBERT *et al.*, 2014).

Como mencionado anteriormente sobre os insetos, os agrotóxicos alteram os mecanismos de resposta imunológica em abelhas. A imidacloprida tem o efeito adverso de suprimir o sistema imunológico, aumentando a incidência do patógeno microsporidium *Nosema ceranae* no intestino médio da abelha. Esta infecção causa desnutrição, o que leva a abelha a um déficit de energia, enfraquecendo-a e até mesmo pode levar a mortes prematuras (ALAUX *et al.*, 2010). Da mesma forma, o uso de neonicotinóides e diferentes fungicidas inibidores da biossíntese de ergosterol aumentam o infecções causadas por *N. ceranae* em diferentes espécies de abelhas em todo o mundo (GOULSON, 2015). A influência de muitos agrotóxicos em concentrações acima do 60% durante o período larval pode favorecer a infestação de parasitas como o ácaro *Varroa destructor* (WU *et al.*, 2011).

Finalmente, outro efeito corresponde a alterações no nível reprodutivo, que é evidenciado nas taxas de fertilidade e na forma direta dos ovários das fêmeas (SÁNCHEZ *et al.*, 2016). A nível físico, foi demonstrado que o uso de neonicotinóides reduz o desenvolvimento em abelhas adultas e o uso de tiametoxam, nas doses de 0,2, 1 e 2 ng/abelha, afeta a termorregulação, diminui atividade de forrageamento e deteriora a força da colônia (TOSI *et al.*, 2016). Em abelhas nativas o uso de tiametoxam e clotianidina foi associado com um menor número total de descendentes, bem como uma diminuição na densidade de colônias e nidificação. As abelhas cortadores de alfafa (*Megachile rotundata*) e abelhas de orquídeas azuis (*Osmia lignaria*), são mais suscetíveis aos inseticidas

neonicotinóides (clotianidina e imidaclopride) do que as abelhas melíferas (RUNDLÖF *et al.*, 2015). Também foi evidenciado uma redução na densidade de abelhas nativas, nidificação de abelhas solitárias e crescimento de colônias de mangangavas. Por exemplo, o fungicida clorotalonil afeta a abelha comum do leste (*Bombus impatiens*), reduzindo o tamanho de seu corpo (HLADIK *et al.*, 2016).

Mesmo em baixos níveis de concentração, os agrotóxicos podem resultar em efeitos letais, sendo crescente o registro de morte de enxames após pulverização aérea em áreas de monocultivos de soja, cana-de-açúcar, laranja, algodão, dentre outros.

É importante o criador de abelhas fazer observações e ficar atento aos seguintes comportamentos do enxame que podem representar intoxicação por agrotóxicos: abelhas mortas no entorno das caixas; redução no número de postura; diminuição da atividade de forrageamento; defensividade em excesso, incapacidade de substituição da rainha; mortandade e má formação das larvas.

Nesse sentido, é importante que o criador de abelhas adote algumas medidas para prevenir a morte de seus enxames pela aplicação indevida de agrotóxicos.

O primeiro passo a ser adotado é o registro legal de seu apiário/meliponário, principalmente se os mesmos estiverem localizados em áreas de APP (Área de Proteção Permanente), tendo em vista que o Novo Código Florestal, Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012 respalda a introdução de atividades de baixo impacto como é o caso da apicultura e meliponicultura.

A segunda medida a ser tomada é a notificação da existência dos apiários/meliponários para que os aplicadores dos agrotóxicos saibam de sua presença e adote as medidas para proteção das abelhas. De acordo com a determinação do Ibama, por exemplo, para a pulverização aérea com os agrotóxicos que contenham imidacloprido, Tiametoxam e Fipronil, os aplicadores deverão informar com antecedência de 48 horas a todos os criadores de abelhas em um raio de até seis quilômetros do local onde ocorrerá a pulverização.

A notificação da existência dos apiários e meliponários poderá ser feita de duas formas: através de uma notificação extrajudicial e/ou registro através do CTF (Cadastro Técnico Federal). É importante dirigir um desses documentos à Secretaria de Defesa Agropecuária do Estado e/ou município, para que esta fique ciente da existência do apiário/meliponário, bem como os demais interessados.

Caso os apiários/meliponário sejam atingidos por pulverização e ocorra a morte de abelhas é necessária a realização de Boletim de Ocorrência na Polícia Ambiental ou na inexistência desta, o boletim deve ser feito na Polícia Civil.

É importante que o criador de abelhas tenha em mãos algum documento que comprove a posse ou permissão para uso da área do apiário/meliponário. É necessário solicitar da autoridade competente, no ato do registro do boletim, que a mesma proceda com a coleta de provas materiais, tais como abelhas mortas, solo, plantas do entorno. As amostras devem ser congeladas e imediatamente encaminhadas ao laboratório acreditado. É importante que o criador de abelhas também recolha material como contraprova.

Se possível, fazer o registro fotográfico e filmagem da pulverização. Caso ocorra morte de outros animais, as mesmas providências deverão ser adotadas. É muito importante o apicultor/meliponicultor registrar a morte das abelhas na Secretaria de Defesa Agropecuária do Estado ou Município.

Outra medida a ser adotada é a realização de denúncia no Ministério Público Federal. As denúncias podem ser feitas também nos Ministérios Públicos Estaduais. O Ministério Público lidera os Fóruns Estaduais de Combate aos Impactos dos Agrotóxicos e tem conduzido investigações sobre o uso inadequado dessas substâncias. O Fórum Nacional está acompanhando casos de morte de abelhas por pulverização aérea.

Por fim, munido de todos os documentos e registros realizados conforme descrito anteriormente, o criador de abelhas deverá constituir advogado para dar entrada em processo judicial para requerer as perdas e danos.

A tabela 1 apresenta os principais agrotóxicos utilizados na agricultura brasileira e seus efeitos sobre as abelhas melíferas.

Tabela 1: Principais agrotóxicos utilizados e seus efeitos sobre as abelhas.

Modo de ação	Exemplos	Efeitos subletais
Alteram a modulação dos canais de Na e a polaridade da membrana celular	Permetrina	Interfere na capacidade de orientação das abelhas
		Provoca graves distúrbios de comportamento: irritabilidade; excessiva autolimpeza; contração do abdômen; dança trêmula
		Redução na capacidade de detecção de odores
	Cipermetrina	Aumenta a taxa de substituição de rainhas
		Afeta a capacidade de reconhecimento do feromônio inibidor

Competidores da Acetilcolina pelos receptores que medeiam o impulso nervoso do Imidacloprido.	Afeta a atividade de forrageamento	
		Dificulta o retorno à colônia
		Afeta o padrão da dança do oito
		Reduz a capacidade da leitura olfativa
		Afeta o ciclo de postura de ovos
		Afeta a quantidade de larvas e pupas
		Em <i>Bombus</i> : diminui a emergência de larvas
Mecanismos de ação voltados para o controle de fungos e plantas.	Captan	Efeito de repelência – diminui a capacidade de forrageamento
		Defeitos morfogênicos
		Aumento na mortalidade larval
	Ipradione	Grande mortalidade larval
		Produção de pupas excepcionalmente grandes
		Suprime o desenvolvimento da glândula hipofaríngea
		Estimula o forrageamento precoce
Mimetizadores da ação de hormônios juvenis	Diflubenzuron; Penfluron; Metoprene	Reduz a captação de pólen e água
		Diminui a produção de favos
		Suprime a produção de crias
	Triflubenzuron	Em <i>Bombus</i> : diminui o desenvolvimento dos ovos
		Aumenta a mortalidade das crias
	Azadirachta	Reduz a emergência de adultos
		Aumenta a mortalidade larval
		Provoca má formação das asas
		Reduz a área de cria
		Ocorre grande mortalidade de rainhas

Além dos efeitos letais e subletais, os inseticidas, principalmente os de ação neurotóxica, amplificam o efeito causado pelos herbicidas e capinas (aplicações manuais e mecanizadas), reduzindo os locais de nidificação e o número de flores silvestres, fornecidas pelas plantas consideradas daninhas, provocando a destruição de áreas naturais e artificiais consideradas estações de refúgio (CORBET, 1991). Áreas cobertas com vegetação nativa apresentam, em geral, um número considerável de espécies de plantas que servem como fonte de néctar e pólen, por meio de florescimento contínuo ou complementar, ao longo do ano, sendo também usadas para descanso, nidificação e reprodução (FREITAS, 1991). A retirada e/ou substituição dessas áreas, em consequência do uso inadequado de pesticidas ou da implantação de monoculturas, leva a uma severa redução do número e da diversidade de polinizadores (THORP, 2002).

A tabela 2 apresenta mais agrotóxicos e seus efeitos nocivos às abelhas.

Tabela 2: Compostos ativos de inseticidas comumente usados no Brasil e seus efeitos adversos nas abelhas.

Agrotóxico	Toxidade (I a III)	Residualidade	Efeito nas abelhas
Abamectina	II	Altamente tóxico para as abelhas. TR: 8 horas TRE: 1-3 dias	TRE em mangangavas, TR curto em abelhas de folha de alfafa e abelhas alcalinas
Acefato	III	Altamente tóxico para as abelhas. TRE: < 3 dias	Incompatível com abelhas, TRE em abelhas de alfafa cortadores de folhas e abelhas alcalinas
Betaciflutrina	III	Altamente tóxico para as abelhas. TR: >1 dia	Possível redução da oviposição diária e a viabilidade dos ovos
Bifentrina	II	Altamente tóxico para as abelhas. TRE: >1 dia. TR: 4-6 horas	TRE em abelhas cortadoras de alfafa e TR por 4-6 horas Incompatível com mangangavas
Clorpirifós	II	Altamente tóxico para as abelhas. TRE: 4-6 dias em concentrações emulsificadas TR: <2 horas	TRE de 7 dias para abelhas cortadoras de alfafa TRE de 6 dias para a abelha alcalina. Poluente comum da cera de abelha. Incompatível com mangangavas
Dimetoato	II	Altamente tóxico para	TRE em abelhas cortadoras

		as abelhas. TRE: < 3 dias	de folhas de alfafa. Não coloque abelhas pelo menos 1 semana depois. Incompatível com mangangavas
Dinotefuran	III	Altamente tóxico para as abelhas. TRE 39 horas	Possível toxicidade em abelhas. Incompatível com mangangavas
Benzoato de emamectina	III	Altamente tóxico para as abelhas. TRE: < 24 horas	TRE de 1 dia para mangangavas
Fipronil	II	Altamente tóxico para as abelhas. TRE: 7-28 dias. TR: < 8 horas	TRE > 1 a um dia para as abelhas cortadoras de alfafa. Incompatível com mangangavas
Gama cialotrina	II	Altamente tóxico para as abelhas. TRE: >1 dia	TRE > 1 dia para abelhas cortadoras de alfafa
Imidacloprida	II	Altamente tóxico para as abelhas. TRE: > 1 dia TR: < 8 horas	Geralmente é usado como um inseticida sistêmico, encontrado no pólen e néctar das plantas. Zangões são mais sensíveis do que as abelhas operárias e rainhas
Lambdacialotrina	II	Altamente tóxico para as abelhas. TRE: > 1 dias TRE: > 7 dias (encapsulado)	TRE maior que 1 dia em abelhas cortadoras de alfafa. Pode ser tóxico quando misturado com propiconazol. Incompatível com mangangavas
Malation	II	Altamente tóxico para as abelhas. TRE: 5,5 dias TRE: 2 dias em um estado finamente moído combinado com agentes hidratantes. TR: 3 horas em composto emulsificado	TRE maior que 7 dias em abelhas cortadoras de alfafa e abelhas alcalinas. Incompatível com mangangavas
Permetrina	II	Altamente tóxico para as abelhas. TRE: 0,5 a 2 dias TRE: > 5 dias	TRE de 3 dias para abelhas cortadoras de alfafa. Incompatível com mangangavas

Sulfoxaflor	III	Altamente tóxico para as abelhas. TR: 3 horas	Ele atua de forma semelhante aos inseticidas neonicotinóides, inibindo os receptores de acetilcolina
Tiametoxam	II	Altamente tóxico para as abelhas. TRE: 7-14 días	Foi encontrado no pólen e no néctar. Zangões são mais sensíveis aos neonicotinóides do que as abelhas. Incompatível com mangangavas
Cipermetrina	II	Altamente tóxico para as abelhas. TRE: > 1 dia	Afeta rapidamente o sistema nervoso central dos insetos.

Legenda: ia: Ingrediente ativo; TR: Toxicidade Residual; TRE: Toxicidade Residual Estendida

8. RECOMENDAÇÕES

As abelhas melíferas e polinizadores selvagens desempenham um papel crucial na agricultura e na produção de alimentos. No entanto, o modelo atual de agricultura industrial quimicamente intensiva põe ambos em perigo e, com eles, o abastecimento alimentar brasileiro. Como mostra este trabalho de revisão, há evidências científicas conclusivas de que neonicotinóides e outros agrotóxicos desempenham um papel importante na redução atual das populações de abelhas. Como consequência, os responsáveis políticos deveriam:

1) Proibir o uso de agroquímicos tóxicos para as abelhas, começando com os mais perigosos autorizados hoje no Brasil. Ou seja, as sete substâncias prioritárias: imidacloprida, tiametoxam, clotianidina, fipronil, clorpirifos, cipermetrina e deltametrina.

2) Adotando campanhas nacionais em favor de polinizadores, apoiar e promover as práticas agrícolas que beneficiam os serviços de polinização em sistemas agrícolas. Por exemplo: rotação de cultivo; áreas de interesse ecológico ao nível de técnicas de exploração e agricultura orgânica.

3) Melhorar a conservação de habitats naturais e seminaturais em torno das fazendas, bem como aumentar a biodiversidade nas áreas de cultura.

4) Aumentar o financiamento para pesquisa e desenvolvimento de práticas agrícolas ecológicas que fiquem longe da dependência do controle químico de pragas para o uso de técnicas baseadas na biodiversidade para controlar pragas e melhorar a saúde do ecossistema.

9. CONCLUSÕES

O uso excessivo de agrotóxicos pode afetar drasticamente a produtividade da cultura devido a danos colaterais em abelhas (um de seus principais polinizadores). A exposição a esses agroquímicos pode resultar em várias consequências, incluindo morte imediata ou em múltiplos efeitos adversos a nível fisiológico nas abelhas. Além de nível ecológico, os danos podem se estender ao enfraquecimento das colmeias, redução das áreas de forrageamento e deterioração do habitat. Os diferentes estudos coletados neste trabalho, mostram os efeitos letais e subletais dos agrotóxicos usados na produção agrícola brasileira, muitos dos quais apresentam elevada residualidade, bioacumulação e efeitos adversos para outras espécies. A situação é ainda mais preocupante pela falta de restrições e regulamentos que permitem controlar o uso de pesticidas, juntamente com poucas informações sobre de serviços ecossistêmicos por polinização.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKCA, Izzet *et al.* Residual toxicity of 8 different insecticides on honey bee (*Apis mellifera* Hymenoptera: Apidae). **Journal of Animal and Veterinary advances**, v. 8, n. 3, p. 436-440, 2009.
- ALAUX, Cédric *et al.* Interactions between *Nosema* microspores and a neonicotinoid weaken honeybees (*Apis mellifera*). **Environmental microbiology**, v. 12, n. 3, p. 774-782, 2010.
- ALIOUANE, Yassine *et al.* Subchronic exposure of honeybees to sublethal doses of pesticides: effects on behavior. **Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal**, v. 28, n. 1, p. 113-122, 2009.
- Anotações de aulas de apicultura do prof. Me. Cleber Rondinelli Gomes de Freitas do curso Técnico em Agropecuária, Belo Jardim: IFPE, 2017.
- ATKINS, E. L.; KELLUM, D. Comparative morphogenic and toxicity studies on the effect of pesticides on honeybee brood. **Journal of Apicultural Research**, v. 25, n. 4, p. 242-255, 1986.
- BAPTISTA, Ana Paula Machado *et al.* Toxicidade de produtos fitossanitários utilizados em citros para *Apis mellifera*. **Ciência Rural**, v. 39, p. 955-961, 2009.
- BENDAHOU, Najib; FLECHE, Cecile; BOUNIAS, Michel. Biological and biochemical effects of chronic exposure to very low levels of dietary cypermethrin (Cymbush) on honeybee colonies (Hymenoptera: Apidae). **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 44, n. 2, p. 147-153, 1999.
- CARVALHO, S. M. *et al.* Toxicidade de acaricidas/inseticidas empregados na citricultura para a abelha africanizada *Apis mellifera* L., 1758 (Hymenoptera: Apidae). **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 76, p. 597-606, 2021.
- CHAM, K. de O. *et al.* Manual de avaliação de risco ambiental de agrotóxicos para abelhas. **Brasília: Ibama/Diqua**, v. 105, 2017.
- DAI, Ping-Li *et al.* Effects of sublethal concentrations of bifenthrin and deltamethrin on fecundity, growth, and development of the honeybee *Apis mellifera ligustica*.

Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal, v. 29, n. 3, p. 644-649, 2010.

DECOURTYE, Axel *et al.* Effects of imidacloprid and deltamethrin on associative learning in honeybees under semi-field and laboratory conditions. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 57, n. 3, p. 410-419, 2004.

DESNEUX, Nicolas; DECOURTYE, Axel; DELPUECH, Jean-Marie. The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods. **Annu. Rev. Entomol.**, v. 52, p. 81-106, 2007.

DONADÍO, M. C. *et al.* Evaluación de la Información Científica vinculada al glifosato en su incidencia sobre la salud humana y el ambiente. **Informe del Consejo Nacional de investigaciones científicas y técnicas (CONICET). Buenos Aires**, 2009.

EASTON, Amy H.; GOULSON, Dave. The neonicotinoid insecticide imidacloprid repels pollinating flies and beetles at field-realistic concentrations. **PLoS One**, v. 8, n. 1, p. e54819, 2013.

EL HASSANI, Abdessalam Kacimi *et al.* Effects of sublethal doses of fipronil on the behavior of the honeybee (*Apis mellifera*). **Pharmacology Biochemistry and Behavior**, v. 82, n. 1, p. 30-39, 2005.

FOGEL, Marilina N. *et al.* Impact of the neonicotinoid acetamiprid on immature stages of the predator *Eriopis connexa* (Coleoptera: Coccinellidae). **Ecotoxicology**, v. 22, n. 6, p. 1063-1071, 2013.

FREITAS, Breno Magalhães; PINHEIRO, José Nunes. Efeitos sub-letais dos pesticidas agrícolas e seus impactos no manejo de polinizadores dos agroecossistemas brasileiros. **Oecologia australis**, v. 14, n. 1, p. 282-298, 2010.

FREITAS, B. M. **Potencial da caatinga para produção de pólen e néctar para a exploração apícola**. Fortaleza: UFC, 1991.

GUEZ, David; ZHANG, Shao-Wu; SRINIVASAN, Mandyam V. Methyl parathion modifies foraging behaviour in honeybees (*Apis mellifera*). **Ecotoxicology**, v. 14, n. 4, p. 431-437, 2005.

- GIANNINI, Tereza C. *et al.* The dependence of crops for pollinators and the economic value of pollination in Brazil. **Journal of economic entomology**, v. 108, n. 3, p. 849-857, 2015.
- GOULSON, Dave *et al.* Bee declines driven by combined stress from parasites, pesticides, and lack of flowers. **Science**, v. 347, n. 6229, 2015.
- GREGORC, Ales; ELLIS, James D. Cell death localization in situ in laboratory reared honey bee (*Apis mellifera* L.) larvae treated with pesticides. **Pesticide biochemistry and physiology**, v. 99, n. 2, p. 200-207, 2011.
- HANLEY, Nick *et al.* Measuring the economic value of pollination services: Principles, evidence and knowledge gaps. **Ecosystem services**, v. 14, p. 124-132, 2015.
- HATJINA, Fani *et al.* Sublethal doses of imidacloprid decreased size of hypopharyngeal glands and respiratory rhythm of honeybees in vivo. **Apidologie**, v. 44, n. 4, p. 467-480, 2013.
- HELSON, B. V.; BARBER, K. N.; KINGSBURY, P. D. Laboratory toxicology of six forestry insecticides to four species of bee (Hymenoptera: Apoidea). **Archives of environmental contamination and toxicology**, v. 27, n. 1, p. 107-114, 1994.
- HENRY, Mickaël *et al.* A common pesticide decreases foraging success and survival in honey bees. **Science**, v. 336, n. 6079, p. 348-350, 2012.
- HERBERT, Lucila T. *et al.* Effects of field-realistic doses of glyphosate on honeybee appetitive behaviour. **Journal of Experimental Biology**, v. 217, n. 19, p. 3457-3464, 2014.
- HEYLEN, Kevin *et al.* The effects of four crop protection products on the morphology and ultrastructure of the hypopharyngeal gland of the European honeybee, *Apis mellifera*. **Apidologie**, v. 42, n. 1, p. 103-116, 2011.
- HLADIK, Michelle L.; VANDEVER, Mark; SMALLING, Kelly L. Exposure of native bees foraging in an agricultural landscape to current-use pesticides. **Science of the Total Environment**, v. 542, p. 469-477, 2016.

- INGRAM, Erin M. *et al.* Evaluating sub-lethal effects of orchard-applied pyrethroids using video-tracking software to quantify honey bee behaviors. **Chemosphere**, v. 135, p. 272-277, 2015.
- KHAN, M. Sarfraz *et al.* Analysis of insecticide residues in honeys from apiary (*Apis mellifera*) and wild honey bee (*Apis dorsata* and *Apis florea*) colonies in India. **Journal of apicultural research**, v. 43, n. 3, p. 79-82, 2004.
- KLATT, Björn K. *et al.* Bee pollination improves crop quality, shelf life and commercial value. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 281, n. 1775, p. 20132440, 2014.
- KLEIN, Alexandra-Maria; STEFFAN-DEWENTER, Ingolf; TSCHARNTKE, Teja. Bee pollination and fruit set of *Coffea arabica* and *C. canephora* (Rubiaceae). **American Journal of Botany**, v. 90, n. 1, p. 153-157, 2003.
- KLEIN, Simon *et al.* Why bees are so vulnerable to environmental stressors. **Trends in ecology & evolution**, v. 32, n. 4, p. 268-278, 2017.
- KREMEN, Claire; WILLIAMS, Neal M.; THORP, Robbin W. Crop pollination from native bees at risk from agricultural intensification. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 99, n. 26, p. 16812-16816, 2002.
- LAMBIN, M. *et al.* Imidacloprid-induced facilitation of the proboscis extension reflex habituation in the honeybee. **Archives of Insect Biochemistry and Physiology: Published in Collaboration with the Entomological Society of America**, v. 48, n. 3, p. 129-134, 2001.
- LOSEY, John E.; VAUGHAN, Mace. The economic value of ecological services provided by insects. **Bioscience**, v. 56, n. 4, p. 311-323, 2006.
- MALASPINA, O. *et al.* Defesa de apiários e meliponários contra agrotóxicos. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE APICULTURA**. 2010.
- MALASPINA, Osmar *et al.* Efeitos provocados por agrotóxicos em abelhas no Brasil. **VIII Encontro Sobre Abelhas. Resumos... Ribeirão Preto: FUNPEC**, p. 41-48, 2008.

- MALASPINA, O.; SOUZA, T. F. Reflexos das aplicações de agrotóxicos nos campos de cultivo para a apicultura brasileira. In: **Anais do XXVII Congresso Brasileiro de Apicultura e III de Meliponicultura. Belo Horizonte, MG, Brasil. CD-Rom. 2008.**
- MALERBO-SOUZA, D. T.; NOGUEIRA-COUTO, R. H. Efeitos de atrativos e repelentes sobre o comportamento da abelha (*Apis mellifera*, L.). **Scientia Agricola**, v. 55, n. 3, p. 388-394, 1998.
- MALERBO-SOUZA, Darcler Teresinha; NOGUEIRA-COUTO, Regina Helena; COUTO, Leomam Almeida. Polinização em cultura de laranja (*Citrus sinensis* L. Osbeck, var. Pera-rio). **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, v. 40, p. 237-242, 2003.
- MALERBO-SOUZA, Darcler Teresinha; DE TOLEDO, Vagner de Alencar Arnaut; DE SENE PINTO, Alexandre. **Ecologia da polinização**. Piracicaba: CP2, 2008.
- MEDRZYCKI, Piotr *et al.* Effects of imidacloprid administered in sub-lethal doses on honey bee behaviour. Laboratory tests. **Bulletin of Insectology**, v. 56, p. 59-62, 2003.
- MEDRZYCKI, Piotr *et al.* Effects of sublethal imidacloprid doses on the homing rate and foraging activity of honey bees. **Bulletin of insectology**, v. 56, n. 1, p. 63-67, 2003.
- MEIXNER, Marina Doris *et al.* A historical review of managed honey bee populations in Europe and the United States and the factors that may affect them. **Journal of invertebrate pathology**, v. 103, p. S80-S95, 2010.
- MULLIN, Christopher A. *et al.* High levels of miticides and agrochemicals in North American apiaries: implications for honey bee health. **PloS one**, v. 5, n. 3, p. e9754, 2010.
- NATION, J. L. *et al.* Influence upon honeybees of chronic exposure to very low levels of selected insecticides in their diet. **Journal of apicultural research**, v. 25, n. 3, p. 170-177, 1986.
- OLIVEIRA, Regiane Alves *et al.* Side-effects of thiamethoxam on the brain and midgut of the africanized honeybee *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae). **Environmental toxicology**, v. 29, n. 10, p. 1122-1133, 2014.

- OSBORNE, Juliet L.; WILLIAMS, Ingrid H.; CORBET, Sarah A. Bees, pollination and habitat change in the European community. **Bee world**, v. 72, n. 3, p. 99-116, 1991.
- PETTIS, Jeffery S. *et al.* Effects of coumaphos on queen rearing in the honey bee, *Apis mellifera*. *Apidologie*, v. 35, n. 6, p. 605-610, 2004.
- PINHEIRO, José Nunes; FREITAS, Breno Magalhães. Efeitos letais dos pesticidas agrícolas sobre polinizadores e perspectivas de manejo para os agroecossistemas brasileiros. **Oecologia Australis**, v. 14, n. 1, p. 266-281, 2010.
- PINTO, M. R.; MIGUEL, W. Intoxicação de *Apis mellifera* por organofosforado na região do Vale do Itajaí-SC. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE MEDICINA VETERINÁRIA**. 2008.
- RAMIREZ-ROMERO, Ricardo; CHAUFaux, Josette; PHAM-DELÈGUE, Minh-Hà. Effects of Cry1Ab protoxin, deltamethrin and imidacloprid on the foraging activity and the learning performances of the honeybee *Apis mellifera*, a comparative approach. **Apidologie**, v. 36, n. 4, p. 601-611, 2005.
- REHMAN, Shaheen *et al.* Chlorpyrifos-induced neuro-oxidative damage in bee. **Toxicology and Environmental Health Sciences**, v. 4, n. 1, p. 30-36, 2012.
- RUNDLÖF, Maj *et al.* Seed coating with a neonicotinoid insecticide negatively affects wild bees. **Nature**, v. 521, n. 7550, p. 77-80, 2015.
- SÁNCHEZ-BAYO, Francisco *et al.* Are bee diseases linked to pesticides?—A brief review. **Environment international**, v. 89, p. 7-11, 2016.
- SCHMUCK, Richard. No causal relationship between Gaucho® seed dressing in sunflowers and the French bee syndrome. **Pflanzenschutz Nachrichten-Bayer-English Edition**, v. 52, p. 257-299, 1999.
- SCHMUCK, Richard *et al.* Risk posed to honeybees (*Apis mellifera* L, Hymenoptera) by an imidacloprid seed dressing of sunflowers. **Pest Management Science: formerly Pesticide Science**, v. 57, n. 3, p. 225-238, 2001.
- SCHNEIDER, Christof W. *et al.* RFID tracking of sublethal effects of two neonicotinoid insecticides on the foraging behavior of *Apis mellifera*. **PloS one**, v. 7, n. 1, p. e30023, 2012.

- SCHNEIDER, M. I. *et al.* Impact of glyphosate on the development, fertility and demography of *Chrysoperla externa* (Neuroptera: Chrysopidae): ecological approach. **Chemosphere**, v. 76, n. 10, p. 1451-1455, 2009.
- ŠKERL, Maja Ivana Smodiš; GREGORC, Aleš. Heat shock proteins and cell death in situ localisation in hypopharyngeal glands of honeybee (*Apis mellifera carnica*) workers after imidacloprid or coumaphos treatment. **Apidologie**, v. 41, n. 1, p. 73-86, 2010.
- SMIRLE, Michael J. The influence of colony population and brood rearing intensity on the activity of detoxifying enzymes in worker honey bees. **Physiological entomology**, v. 18, n. 4, p. 420-424, 1993.
- SPIVAK, Marla *et al.* The plight of the bees. **Environmental Science & Technology**, 45: 34-38. 2011.
- STONER, A.; WILSON, W. T.; HARVEY, J. Acephate (Orthene®): Effects on honey bee queen, brood and worker survival. **Applied and environmental microbiology (Print)**, v. 125, n. 6, p. 448-450, 1985.
- STONER, Adair; WILSON, William T.; RHODES, Howard A. Carbofuran: Effect of long-term feeding of low doses in sucrose syrup on honey bees in standard-size field colonies. **Environmental Entomology**, v. 11, n. 1, p. 53-59, 1982.
- STONER, Adair; WILSON, William T.; HARVEY, Jack. Dimethoate (Cygon (R)): effect of long-term feeding of low doses on honey bees in standard-size field colonies [*Apis mellifera*]. **Southwest Entomology**, 1983.
- SUCHAIL, Séverine; GUEZ, David; BELZUNCES, Luc P. Discrepancy between acute and chronic toxicity induced by imidacloprid and its metabolites in *Apis mellifera*. **Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal**, v. 20, n. 11, p. 2482-2486, 2001.
- TOSI, Simone *et al.* Effects of a neonicotinoid pesticide on thermoregulation of African honey bees (*Apis mellifera scutellata*). **Journal of Insect Physiology**, v. 93, p. 56-63, 2016.

- VAN DAME, Rémy *et al.* Alteration of the homing-flight in the honey bee *Apis mellifera* L. Exposed to sublethal dose of deltamethrin. **Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal**, v. 14, n. 5, p. 855-860, 1995.
- WHITEHORN, Penelope R. *et al.* Neonicotinoid pesticide reduces bumble bee colony growth and queen production. **Science**, v. 336, n. 6079, p. 351-352, 2012.
- WU, Judy Y.; ANELLI, Carol M.; SHEPPARD, Walter S. Sub-lethal effects of pesticide residues in brood comb on worker honey bee (*Apis mellifera*) development and longevity. **PloS one**, v. 6, n. 2, p. e14720, 2011.
- YANG, E. C. *et al.* Abnormal foraging behavior induced by sublethal dosage of imidacloprid in the honey bee (Hymenoptera: Apidae). **Journal of economic entomology**, v. 101, n. 6, p. 1743-1748, 2008.