



RAFAELA CORRÊA PEREIRA

**AGROTÓXICOS NOS ALIMENTOS: DISCUSSÃO DE
EVIDÊNCIAS CIENTÍFICAS RELACIONADAS COM A SAÚDE**

**LAVRAS – MG
2020**

RAFAELA CORRÊA PEREIRA

**AGROTÓXICOS NOS ALIMENTOS: DISCUSSÃO DE EVIDÊNCIAS CIENTÍFICAS
RELACIONADAS COM A SAÚDE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Nutrição e Saúde, área de concentração em Nutrição e Saúde, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Michel Cardoso de Angelis Pereira
Orientador

**LAVRAS – MG
2020**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Pereira, Rafaela Corrêa.

Agrotóxicos nos alimentos: discussão de evidências científicas
relacionadas com a saúde / Rafaela Corrêa Pereira. - 2020.

125 p. : il.

Orientador(a): Michel Cardoso de Angelis-Pereira.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de
Lavras, 2020.

Bibliografia.

1. sistema de cultivo. 2. efeito metabólico. 3. segurança
alimentar e nutricional. I. de Angelis-Pereira, Michel Cardoso. II.
Título.

RAFAELA CORRÊA PEREIRA

**AGROTÓXICOS NOS ALIMENTOS: DISCUSSÃO DE EVIDÊNCIAS CIENTÍFICAS
RELACIONADAS COM A SAÚDE**

**PESTICIDES IN FOOD: DISCUSSION OF SCIENTIFIC EVIDENCES RELATED TO
HEALTH**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Nutrição e Saúde, área de concentração em Nutrição e Saúde, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 21 de agosto de 2020.

Dr. Michel Cardoso de Angelis Pereira
Dr. Éldo Bonomo
Dra. Cassiana Regina de Goes

UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS

Prof. Dr. Michel Cardoso de Angelis Pereira
Orientador

**LAVRAS – MG
2020**

*A todos os cientistas
que mantêm como ideal o cuidado ao próximo
e que pela (cons)ciência
lutam por uma sociedade mais justa*

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

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

A Deus, por ter nos proporcionado a vida e a inteligência, e por ter despertado em mim a curiosidade, que me fez chegar até aqui. Agradeço por se manifestar em mim a todo instante, e por me manter consciente dos caminhos e do trabalho necessários para o verdadeiro progresso.

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Nutrição, pelos recursos e infraestrutura disponibilizados para minha formação e pelas experiências, parcerias e amizades ali construídas.

Aos meus pais, Fátima e Nivaldo, irmão Marcelo, Eliane e Eduarda, e vó Maria pelos cuidados recíprocos que nos unem. Em especial agradeço a minha mãe, que além de todo cuidado, carinho e amor, é minha maior incentivadora e conselheira. Agradeço também pelas frequentes discussões e opiniões diversas, muitas delas, inclusive, presentes neste trabalho.

Ao Michel, que muito mais do que Orientador e idealizador deste trabalho, é meu maior exemplo que Paulo Freire bem descreve: “um educador criador, instigador, inquieto, curioso, humilde e persistente”. Com você, aprendo a cada dia a importância de sermos mais conscientes, humildes e, acima de tudo, atentos ao ambiente ao nosso redor e às necessidades do próximo... de sermos históricos! Por estes direcionamentos, muito obrigada! Agradeço também pela amizade, pelos cuidados paternais, pelos ideais compartilhados e por me ensinar o valor da persistência, principalmente na busca pela ciência justa e democrática...

Aos amigos Julia, Thayana, Kamilla, Maísa, Monique, Ana Paula e Fernanda, que independente dos diferentes momentos e contextos que apareceram em minha vida, compartilham momentos e alegrias.

Aos colegas do Programa de Pós-Graduação em Nutrição e Saúde, pela troca de experiências, pela convivência e pelas parcerias que contribuíram para a minha formação.

À Vânia, por aguentar as lamentações, por entender os apuros, e pela disponibilidade em nos ajudar, sempre com boa vontade e alegria.

A todos aqueles, mesmo que não citados, que torceram e me apoiaram nesta caminhada, meus sinceros agradecimentos!

“NÃO EXISTE IMPARCIALIDADE. TODOS SÃO
ORIENTADOS POR UMA BASE IDEOLÓGICA. A
QUESTÃO É: SUA BASE IDEOLÓGICA É
INCLUSIVA OU EXCLUDENTE?”

PAULO FREIRE

RESUMO

Os agrotóxicos estão presentes na produção da maioria dos alimentos no Brasil e no mundo. Seu uso em massa se iniciou na chamada “Revolução Verde”, com o objetivo de modernizar a agricultura e aumentar a produtividade de alimentos. Porém, com o passar do tempo, os estudos científicos passaram a comprovar, além da contaminação dos alimentos, do solo, das águas e do ar, seus efeitos tóxicos aos seres vivos. A análise crítica pelo aprofundamento em evidências científicas são fundamentais para possibilitar a discussão de propostas e a aplicação de ações viáveis, capazes de atender as demandas populacionais por alimentos saudáveis ao mesmo tempo que se garanta a qualidade e a segurança à saúde e ao meio ambiente. Assim, esse material reúne evidências e discussões teórico-práticas disponíveis na literatura científica com os objetivos específicos de: (i) entender os efeitos do consumo crônico de resíduos de agrotóxicos pela alimentação para verificar se os limites máximos aceitáveis como seguros e os ensaios toxicológicos propostos pelos órgãos públicos e fabricantes são coerentes com as evidências científicas; (ii) analisar o potencial de cultivos orgânicos como alternativa agronômica para a produção de alimentos mais saudáveis, seguros e de qualidade, tendo como enfoque a composição de substâncias bioativas; (iii) estudar alternativas e estratégias de curto prazo a serem aplicadas pelos consumidores para diminuir as concentrações de resíduos de agrotóxicos em alimentos; (iv) elaborar um material de cunho pedagógico, acessível para a população em geral e para profissionais. Os resultados obtidos permitiram concluir que condições de consumo crônico de agrotóxicos, similar ao que a população está sujeita pelo consumo de alimentos contaminados com resíduos de agrotóxicos ao longo da vida, podem trazer efeitos deletérios à saúde. Esses efeitos foram ocorrentes em diferentes sistemas do organismo, sendo as principais evidências relacionadas à distúrbios dos sistemas nervoso, digestivo, cardiovascular e urinário. Na análise do potencial de cultivos orgânicos, os estudos demonstraram que o sistema de cultivo tem impacto na síntese de compostos bioativos, sendo cultivos orgânicos os que, em média, apresentaram maiores concentrações dessas substâncias, além de maior estabilidade oxidativa, destacando a importância do estímulo à produção desses alimentos como um dos pilares para a construção de práticas alimentares saudáveis e sustentáveis em oposição à agricultura convencional. A redução dos resíduos de agrotóxicos por técnicas como lavagem em água e soluções ácidas, alcalinas e detergentes, descascamento, homogeneização e cocção, pode ser estratégia eficaz para redução de resíduos de agrotóxicos. Em alguns casos, essas técnicas podem não ser eficazes. A cocção, por exemplo, além de levar a formação de metabólitos secundários de natureza desconhecida, pode promover a concentração do alimento pela remoção de água, fazendo com que os resíduos sejam concentrados no produto. Com esses resultados, pôde-se elaborar um material de cunho didático-informativo cientificamente embasado, que pode servir de apoio para ações de Educação Alimentar e Nutricional que têm como objetivo a formação de sujeitos autônomos e críticos em suas escolhas alimentares, ao mesmo tempo que contribui para atingir os objetivos das estratégias de promoção da Segurança Alimentar e Nutricional.

Palavras-chave: técnica agronômica, toxicologia, efeito metabólico, segurança alimentar e nutricional, cultivo orgânico.

ABSTRACT

Pesticides are present in the production of most foods in Brazil and worldwide. Its mass use began in the so-called “Green Revolution”, with the aim of modernizing agriculture and increasing food productivity. However, over time, scientific studies have come to prove, in addition to the contamination of food, soil, water and air, its toxic effects on living beings. Critical analysis due to the deepening of scientific evidence is essential to enable the discussion of proposals and the implementation of viable actions, capable of meeting population demands for healthy food while guaranteeing quality and safety to health and the environment. Thus, this material gathers evidence and theoretical-practical discussions available in the scientific literature with the specific objectives of: (i) understanding the effects of chronic consumption of pesticide residues in food to verify that the maximum acceptable limits are safe and the proposed toxicological tests by public bodies and manufacturers are consistent with scientific evidence; (ii) analyzing the potential of organic crops as an agronomic alternative for the production of healthier, safer and quality foods, focusing on the composition of bioactive substances; (iii) studying alternatives and short-term strategies to be applied by consumers to reduce the concentration of pesticide residues in food; (iv) developing pedagogical material, accessible to the general population and professionals. The results obtained allowed us to conclude that conditions of chronic consumption of pesticides, like what the population is subjected to by the consumption of food contaminated with pesticide residues throughout life, can have harmful effects on health. These effects occurred in different body systems, the main evidence being related to disorders of the nervous, digestive, cardiovascular and urinary systems. In analyzing the potential of organic crops, studies have shown that the cultivation system has an impact on the synthesis of bioactive compounds, with organic crops being those that, on average, had higher concentrations of these substances, in addition to greater oxidative stability, highlighting the importance of the stimulus the production of these foods as one of the pillars for building healthy and sustainable eating practices as opposed to conventional agriculture. The reduction of pesticide residues by techniques such as washing in water and acidic, alkaline and detergent solutions, peeling, homogenization and cooking, can be an effective strategy for reducing pesticide residues. In some cases, these techniques may not be effective. Cooking, for example, in addition to leading to the formation of secondary metabolites of unknown nature, can promote the concentration of food by removing water, causing waste to be concentrated in the product. With these results, it was possible to elaborate a didactic-informative material scientifically based, which can serve as support for actions of Food and Nutritional Education that have as objective the formation of autonomous and critical subjects in their food choices, at the same time that contributes to achieving the objectives of the strategies to promote Food and Nutritional Security.

Keywords: agronomic technique, toxicology, metabolic effect, food and nutritional security, organic cultivation.

SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE	10
1 INTRODUÇÃO	10
2 REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1 Agrotóxicos: Considerações iniciais.....	12
2.2 Aspectos regulatórios, toxicologia e segurança dos agrotóxicos.....	18
2.3 O Que a ciência evidencia... ..	24
2.3.1 Agrotóxicos e saúde	24
2.3.2 Impactos ambientais.....	27
2.4 Contrapontos entre evidências científicas e políticas públicas adequadas.....	29
2.5 Alternativas e Desafios	34
3 REFERÊNCIAS	36
SEGUNDA PARTE - ARTIGOS	43
ARTIGO 1.....	43
ARTIGO 2.....	64
ARTIGO 3.....	87
TERCEIRA PARTE – MATERIAL DIDÁTICO	110

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

Os numerosos e divergentes estudos científicos e as polêmicas discussões midiáticas a respeito do uso de agrotóxicos, sua necessidade e imprescindibilidade - ou não - para os cultivos agrícolas e para a produção de alimentos, seus impactos ambientais, toxicidade e efeitos deletérios à saúde humana, somado às discussões políticas, econômicas e sociais intrínsecas ao seu uso, evidenciam a necessidade de se adentrar nessas discussões de maneira cada vez mais embasada, consistente e independente.

Enquanto algumas linhas de pesquisa sugerem que as técnicas agronômicas convencionais, dependentes do uso de agrotóxicos, fertilizantes químicos e organismos geneticamente modificados (OGMs) são as únicas capazes de atender as demandas populacionais por alimentos sem a necessidade de expansão/desmatamento de áreas, ao mesmo tempo que reconhecem possíveis revisões nos procedimentos técnicos e regulamentações em prática atualmente para melhor eficácia e produtividade, outras linhas sugerem a necessidade e urgência de se propor métodos alternativos mais seguros e sustentáveis de produção.

Essas discussões, muitas vezes, levam à polarização de argumentos e posicionamentos e, automaticamente, embates entre os defensores do modelo atual do agronegócio e seus opositores. Em ambos os casos, pode haver argumentos tendenciosos ou sustentados em limitadas evidências científicas que tornam inviável o consenso e, mais ainda, a implementação de ações verdadeiramente eficazes e resolutivas. Assim, muitas perguntas importantes de serem esclarecidas atualmente ainda carecem de respostas coerentes, fundamentais para traçar as estratégias mais adequadas a serem adotadas para resolução dos principais problemas advindos das técnicas agronômicas predominantes atualmente, principalmente considerando seus efeitos deletérios à saúde da população e equilíbrio do meio ambiente, como evidenciado por número cada vez maior de pesquisas.

Dentre essas perguntas, podemos destacar: O modelo do agronegócio atual, dependente do uso de agrotóxicos, é um modelo eficaz em garantir o acesso à alimentos seguros, em quantidade e qualidade suficientes? As regulamentações vigentes consideram o problema da toxicidade e segurança com o cuidado que se necessita? Os conflitos de interesse entre fabricantes e Estado impõem barreiras para aprovação de leis mais rígidas e seguras? Os limites residuais permitidos em alimentos são realmente seguros à saúde quando se considera a

exposição crônica? Existem alternativas de curto prazo que o consumidor pode adotar para evitar os riscos associados à exposição crônica aos agrotóxicos?

A análise crítica, pelo entendimento dos argumentos dados a essas e muitas outras perguntas, pelo aprofundamento em evidências científicas válidas e independentes, pela identificação de contrapontos, especificidades e conflitos de interesse na literatura, e pelo levantamento de limitações e lacunas existentes nessas discussões, é fundamental para expor o problema da forma mais precisa e genuína possível e, por consequência, possibilitar a discussão de propostas e a aplicação de ações válidas e viáveis capazes de atender as demandas populacionais por alimentos saudáveis ao mesmo tempo que se garanta a qualidade e a segurança à saúde e ao meio ambiente.

O contexto, como se vê, é abrangente e complexo e requer abordagens e discussões interdisciplinares e transdisciplinares. Sabendo disso, e buscando trazer algumas contribuições para as discussões no âmbito da alimentação e da saúde, principalmente no que se refere aos efeitos à saúde de quantidades residuais advindas da alimentação, este projeto de pesquisa se propõe a reunir evidências científicas e discussões teórico-práticas disponíveis na literatura científica com os objetivos específicos de:

- Entender os efeitos do consumo crônico de resíduos de agrotóxicos pela alimentação para verificar se os limites máximos aceitáveis como seguros e os ensaios toxicológicos propostos pelos órgãos públicos e fabricantes são coerentes com as evidências científicas, destacando possíveis limitações e incoerências nos estudos;
- Analisar o potencial de cultivos orgânicos como alternativa agronômica para a produção de alimentos mais saudáveis, seguros e de qualidade, tendo como enfoque a composição de substâncias bioativas;
- Estudar alternativas e estratégias de curto prazo a serem aplicadas pelos consumidores para diminuir as concentrações de resíduos de agrotóxicos em alimentos; e
- Com base nas evidências e discussões obtidas nessas pesquisas, elaborar um material de cunho pedagógico, acessível para a população em geral e para profissionais, que sirva de apoio para a educação e formação consumidores mais críticos e autônomos quanto ao uso de agrotóxicos em alimentos, seus efeitos à saúde e alternativas para redução da exposição.

Para atingir esses objetivos, será elaborado um material capaz de fornecer, por meio de evidências científicas sólidas e independentes obtidas pela análise sistemática da literatura, argumentos válidos para autoridades públicas, profissionais e sociedade em geral discutirem

conjuntamente ações práticas nas esferas públicas e privadas que garantam produção e acesso à alimentos de qualidade, que promovam a saúde humana e dos ecossistemas impactados pelos modelos em prática atualmente.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Agrotóxicos: Considerações iniciais

A Lei Federal no 7.802, de 11 de julho de 1989 (BRASIL, 1989), atualmente regulamentada pelo Decreto 4.074, de 4 de janeiro de 2002 (BRASIL, 2002) que revogou o Decreto 98.816, de 11 de janeiro de 1990 (BRASIL, 1990), é o instrumento legal que regulamentou primeiramente a Lei de Agrotóxicos no Brasil. Nela, agrotóxicos são conceituados da seguinte maneira:

“Entende-se por agrotóxicos as substâncias, ou mistura de substâncias, de natureza química quando destinadas a prevenir, destruir ou repelir, direta ou indiretamente, qualquer forma de agente patogênico ou de vida animal ou vegetal, que seja nociva às plantas e animais úteis, seus produtos e subprodutos e ao homem” (BRASIL, 1989).

Conceito semelhante é proposto pela *Food and Agriculture Organization* (FAO, 2014), que estabelece que agrotóxicos compreendem:

“Qualquer substância, ou mistura de substâncias, usadas para prevenir, destruir ou controlar qualquer praga – incluindo vetores de doenças humanas e animais, espécies indesejadas de plantas ou animais, causadoras de danos durante (ou interferindo na) a produção, processamento, estocagem, transporte ou distribuição de alimentos, produtos agrícolas, madeira e derivados, ou que – ou que deva ser administrada para o controle de insetos, aracnídeos e outras pestes que acometem os corpos de animais de criação” (FAO, 2014).

Assim, os agrotóxicos constituem categoria heterogênea de substâncias químicas e podem ser classificados de acordo com os alvos preferenciais sobre os quais atuam (inseticidas, acaricidas, larvicidas, nematocidas, moluscocidas, bacteriostáticos e bactericidas, fungicidas, herbicidas, pediculicidas e rodenticidas); ou de acordo com a classe química a que pertencem

(organoclorados, organofosforados, carbamatos, piretroides, triazinas entre outras) (QUADRO 1) (BEDOR, 2008).

Quadro 1 - Principais categorias de agrotóxicos quanto à natureza da praga combatida e ao grupo que pertencem.

Classificação quanto à natureza da praga controlada	Classificação quanto ao grupo químico	Exemplos (produto/substâncias/agentes)
Inseticidas (controle de insetos)	Inorgânicos	Fosfato de alumínio, arsenato de cálcio
	Extratos vegetais	Óleos vegetais
	Organoclorados	Aldrin,* DDT,* BHC*
	Organofosforados	Fenitroton, Paration, Malation, Metil-paration
	Carbamatos	Carbofuran, Aldicarb, Carbaril
	Piretróides sintéticos Microbiais	Deltametrina, Permetrina <i>Bacillus thuringiensis</i>
Fungicidas (combate aos fungos)	Inorgânicos	Calda Bordalesa, enxofre
	Ditiocarbamatos	Mancozeb, Tiram, Metiram
	Dinitrofenóis	Binapacril
	Organomercuriais	Acetato de fenilmercúrio
	Antibióticos	Estreptomicina, Ciclo-hexamida
	Trifenil estânico	Duter, Brestam
	Compostos Formilamina	Triforina, Cloranifometam
Herbicidas (combate às plantas invasoras)	Fentalamidas	Captafol, Captam
	Inorgânicos	Arsenito de sódio, cloreto de sódio
	Dinitrofenóis	Bromofenoxim, Dinoseb, DNOC
	Fenoxiacéticos	CMPP, 2,4-D, 2,4,5-T
	Carbamatos	Profam, Cloroprofam, Bendiocarb
	Dipiridilos	Diquat, Paraquat, Difenzoquat
	Dinitroanilinas	Nitralin, Profluralin
	Benzonitrilas	Bromoxinil, Diclobenil
Desfoliantes (combate às folhas indesejadas)	Glifosato	Round-up
	Dipiridilos	Diquat, Paraquat
Fumigantes (combate às bactérias do solo)	Dinitrofenóis	Dinoseb, DNOC
	Hidrocarbonetos halogenados	Brometo de metila, cloropicrina
	Geradores de Metil-isocianato	Dazomet, Metam
Rodenticidas/Raticidas (combate aos roedores/ratos)	-	Formaldeídos
	Hidroxycumarinas	Cumatetralil, Difenacum
Moluscocidas (combate aos moluscos)	Indationas	Fenil-metil-pirozolona, pindona
	Inorgânicos (aquáticos)	Sulfato de cobre
Nematicidas (combate aos nematódeos)	Carbamatos (terrestres)	Aminocarb, Metiocarb, Mexacarbato
	Hidrocarbonetos halogenados	Dicloropropeno, DD
Acaricidas (combate aos ácaros)	Organofosforados	Diclofention, Fensulfotion
	Organoclorados	Dicofol, Tetradifon
	Dinitrofenóis	Dinocap, Quinometionato

*Proibidos em vários países e no Brasil.

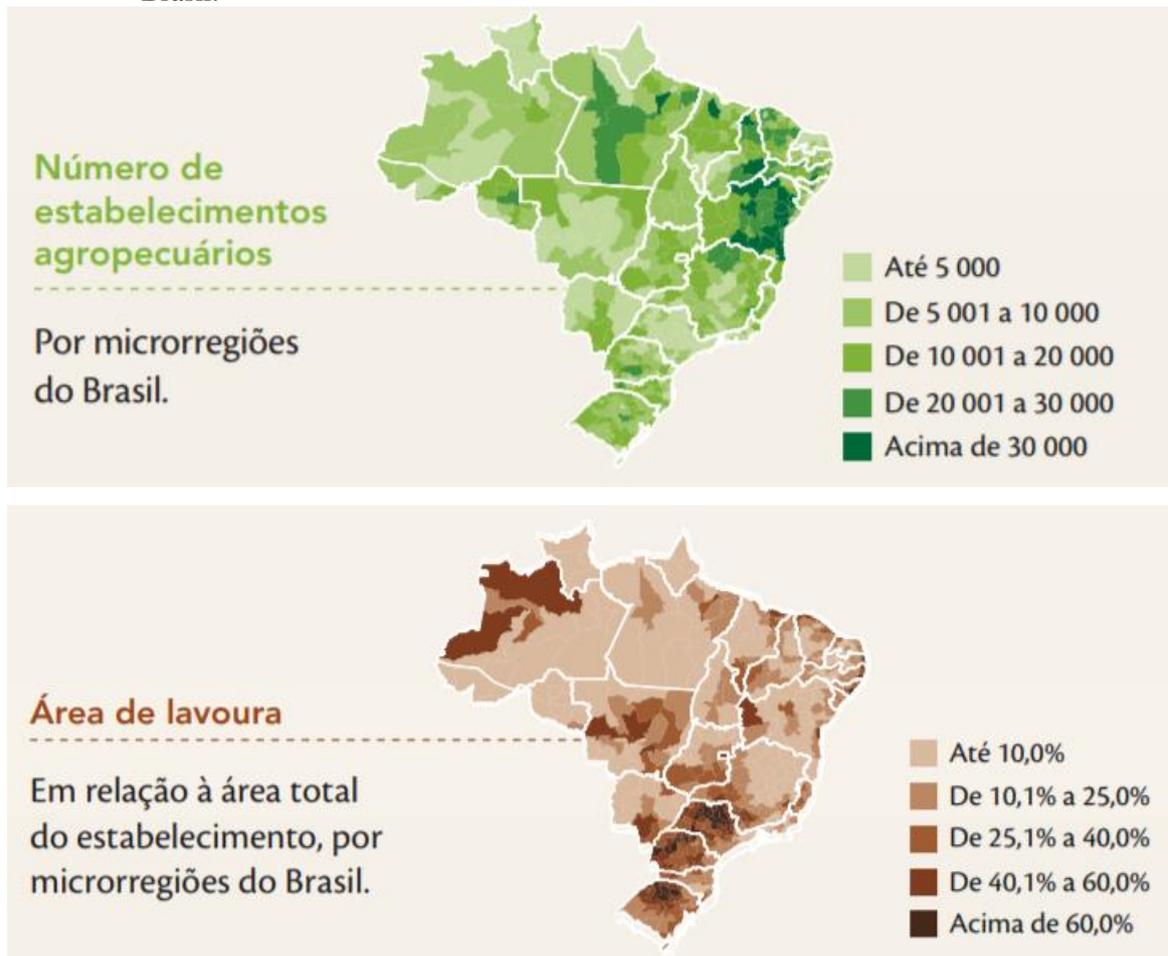
Fonte: Peres et al. (2003).

A utilização em massa de agrotóxicos na agricultura se inicia na década de 1950, nos Estados Unidos, com a chamada ‘Revolução Verde’, que teria o intuito de modernizar a agricultura e aumentar sua produtividade. No Brasil, esse movimento chega na década de 1960

e, com a implantação do Programa Nacional de Defensivos Agrícolas (PNDA), ganha impulso na década de 1970. O programa vinculava a utilização dessas substâncias à concessão de créditos agrícolas, sendo o Estado um dos principais incentivadores dessa prática (LOPES et al., 2018).

Atualmente, o Brasil é um dos principais produtores agrícolas do mundo. Segundo o Censo Agropecuário de 2017, 351 milhões de hectares é a área total de estabelecimentos agropecuários no Brasil, ocupando 15 milhões de pessoas em atividades agropecuárias, sendo a soja a lavoura com maior valor de produção, seguido de cana-de-açúcar, milho e café. Esses números e respectivas áreas estão ilustrados na Figura 1, que destaca a presença de grandes áreas cultivadas concentrada em poucos estabelecimentos, principalmente nas regiões sul, sudeste, centro-oeste e extremo norte do país (IBGE, 2017).

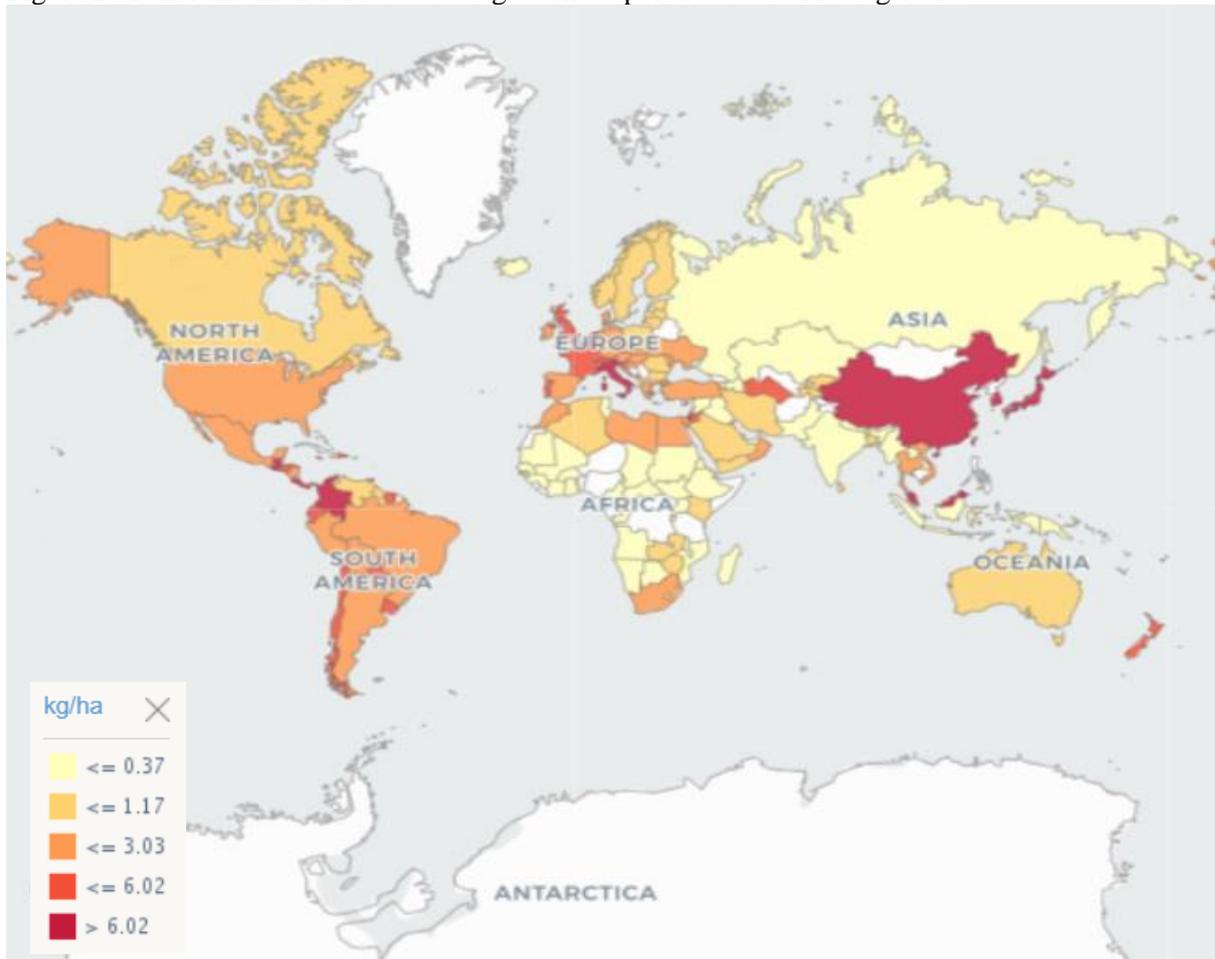
Figura 1 - Distribuição de estabelecimentos agropecuários e respectivas áreas por microrregiões do Brasil.



Fonte: IBGE – Censo Agropecuário (2017).

O país ainda possui políticas públicas que fomentam o uso e o comércio de agrotóxicos (como o baixo custo para registro de produtos na ANVISA e isenção de ICMS na maioria dos estados), o que o coloca também como um dos maiores consumidores desses insumos (FIGURA 2) (LOPES et al., 2018).

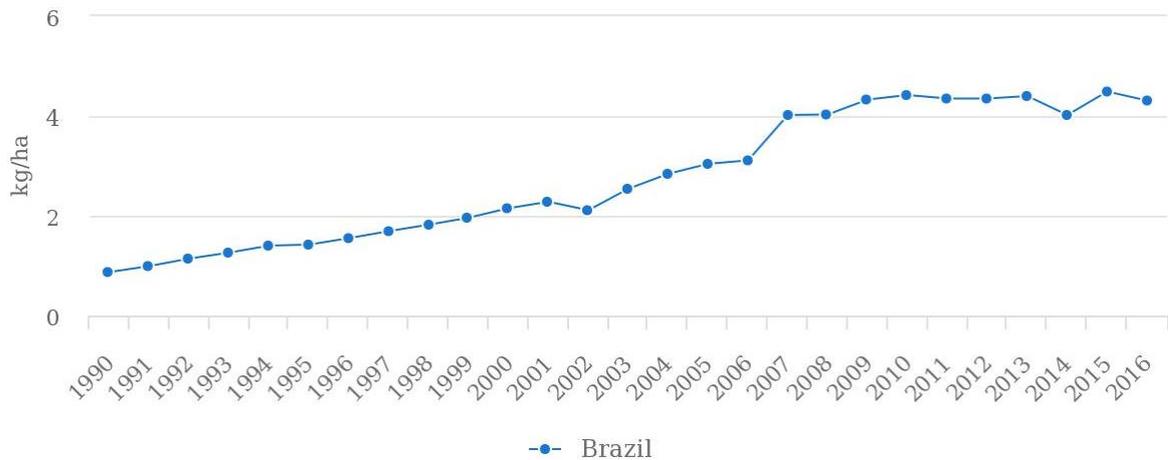
Figura 2 - Panorama mundial de uso de agrotóxicos por áreas de cultivo agrícola.



Fonte: FAO (2018a).

O Censo de 2017 indicou que o número de estabelecimentos que admitiram usar agrotóxicos aumentou 20,4% em relação aos dados anteriores de 2006. De forma complementar, os dados de uso médio por área cultivada divulgados pela FAO também destacam o crescente uso desses insumos nas culturas do país (FIGURA 3).

Figura 3 - Evolução do uso de agrotóxicos em estabelecimentos agropecuários no Brasil (1990 – 2016).



Fonte: FAO (2018a).

Apesar do uso de agrotóxico por área de cultivo no Brasil não ser um dos maiores, ficando atrás de países como Japão, China e alguns países da União Europeia e América Latina, o país é líder quando se compara o valor investido em agrotóxicos, segundo dados da Phillips McDougall (2013).

Nesta pesquisa, o órgão atribui três rankings sob diferentes perspectivas: valor investido em números absolutos, número por área cultivada e por volume de produção agrícola. Os dados de 2013 indicam, portanto, que o Brasil foi o país que mais gastou com agrotóxicos no mundo: US\$ 10 bilhões. Estados Unidos, China, Japão e França ficaram, respectivamente, nas posições seguintes.

O segundo ranking divide os gastos totais pela área cultivada, ou seja, o quanto é investido em agrotóxico por hectare plantado. Na lista o Brasil ficou em 7º lugar, com US\$ 137 por hectare, atrás de Japão, Coreia do Sul, Alemanha, França, Itália e Reino Unido.

O terceiro ranking mostra quanto cada país gasta com agrotóxicos tendo o tamanho da produção agrícola como referência. Para isso, são divididos os gastos absolutos pelas toneladas de alimento produzidos. O Brasil é o 13º da lista (US\$ 9 por tonelada), que mais uma vez é liderada por Japão e Coreia do Sul.

No entanto, no cálculo dos gastos totais de agrotóxico por área cultivada, por exemplo, são contabilizadas áreas de pastagens, que na maioria das vezes representam grandes áreas improdutivas. Segundo dados do Censo Agropecuário de 2017, essas áreas representam aproximadamente 45% do uso agrícola dos estabelecimentos agropecuários enquanto áreas de lavouras permanentes e temporárias, diretamente responsáveis pela conversão de alimentos, são

de apenas 18,1%, o que pode subestimar a utilização de agrotóxicos por área de cultivo de alimentos no país (IBGE, 2017).

Por meio de dados de Produção Agrícola Municipal do Sistema do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística de Recuperação Automática (IBGE-SIDRA) de 21 culturas economicamente predominantes no Brasil e usando indicadores da quantidade média de agrotóxicos utilizados por hectare para cada cultura, Pignati et al. (2017) fizeram a espacialização da quantidade de agrotóxicos usados nos municípios brasileiros em 2015. A pesquisa constatou que de um total de 71 milhões de hectares plantados no Brasil houve predomínio dos cultivos de soja, milho, cana-de-açúcar e algodão, que corresponderam a 76% da área plantada em 2015. Foram pulverizados 899 milhões de litros de agrotóxicos nas lavouras. Os estados do Mato Grosso, Paraná e Rio Grande Sul foram os que mais utilizaram agrotóxicos.

Dentre os cinco agrotóxicos mais vendidos no Brasil, estão o glifosato e seus sais (173.150,73 toneladas), 2,4-D (57.389,35 toneladas), mancozebe (30.815,09 toneladas), acefato (27.050,66 toneladas) e atrazina (24.730,90 toneladas) (IBAMA, 2017).

O glifosato é, atualmente, o agrotóxico mais comercializado no mundo. Desenvolvido nos anos 1950 pela indústria farmacêutica, o princípio ativo passou a ser utilizado na formulação de um herbicida pela Monsanto, atual Bayer, a partir de 1970 (TORRETTA et al., 2018).

Assim como o glifosato, o 2,4-D também é um dos principais agrotóxicos comercializados e utilizados no mundo. É um herbicida cujo mecanismo de ação é de mimetizar auxinas naturalmente sintetizadas pelo vegetal. Os produtos à base de 2,4-D, usados isoladamente ou em conjunto com o glifosato, também constituem a base das dessecações de manejo das áreas de plantio direto de grãos, prática muito comum no Brasil (TAVARES et al., 2018).

Apesar do aumento do consumo de agrotóxicos no Brasil e a correspondente elevação dos níveis de contaminação ambiental e de exposição humana, não houve aumento proporcional das ações de fiscalização e de controle para assegurar a proteção do ambiente e das populações expostas. Mesmo diante da insuficiência de medidas de monitoramento e protetivas, o consumo de agrotóxicos no Brasil deve aumentar de forma relevante nos próximos anos. Esta projeção tem por base as iniciativas dos sucessivos governos federais da chamada “expansão da fronteira agrícola”, aqui compreendida como a política de substituição de terras de usos diversos para a ampliação da produção de commodities agrícolas, seguindo sua tendência de reprimarização da

economia, intensificada a partir da década de 1990. Exemplo emblemático disso é o projeto Matopiba, que visa destinar em torno de 72 milhões de hectares na área do Cerrado dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia para lavouras de maior consumo de agrotóxicos do país, como soja, milho, algodão e cana-de-açúcar (FIOCRUZ, 2018).

2.2 Aspectos regulatórios, toxicologia e segurança dos agrotóxicos

Os efeitos tóxicos dos agrotóxicos para os seres vivos e o meio ambiente começaram a ser descritos a partir de 1960 (PERES, 2003). A Organização Mundial de Saúde estima que, no mundo, 150 milhões de pessoas são intoxicadas anualmente e mais de 20 mil morrem em consequência da exposição a agrotóxicos, a maioria dos casos ocorrendo em países em desenvolvimento (OPAS/OMS, 1990). Dada à intensidade e à frequência do contato com tais agentes químicos, a contaminação de trabalhadores que manipulam estas substâncias, é responsável por 80% dos casos de intoxicação no meio rural (PERES, 2003).

Assim, atualmente, existe consenso de que a toxicidade dos produtos utilizados está relacionada à sua classificação toxicológica e, portanto, recomenda a classificação dos agrotóxicos em função do seu risco para a saúde, baseada no comportamento tóxico dessas substâncias, administradas por via oral ou dérmica em ratos e outros animais de laboratório, determinando a dose letal média como aquela que produz 50% de morte nos animais expostos (OMS, 2019).

Entretanto, a FAO (2004) reconhece que o risco no uso de agrotóxicos decorre não só da probabilidade de um produto causar um efeito adverso à saúde ou ao ambiente, mas também da severidade deste efeito. A severidade do efeito está relacionada às características da exposição a estes produtos, isto é, à natureza da atividade exercida pelo indivíduo exposto, ao grau e à frequência da exposição ao agente químico.

No geral, dentre as metodologias para análise de risco de agrotóxicos, normalmente são utilizados como referência para aprovação ou não de um produto seu potencial carcinogênico, teratogênico ou mutagênico, como estabelecido pela Lei 7802/89 (Lei dos Agrotóxicos) em vigor no Brasil.

O Comitê da FAO/WHO para Resíduos de Agrotóxicos (*Joint FAO/WHO Meeting on Pesticide Residues – JMPR*), por sua vez, propõem os parâmetros *Acceptable Daily Intake* (ADI) e *Acute Reference Dose* (ARfD) e consideram como desfechos relevantes para a determinação de limites seguros de ingestão de agrotóxicos parâmetros como hematotoxicidade,

imunotoxicidade, neurotoxicidade, toxicidade hepática e renal, efeitos endócrinos e no desenvolvimento (SOLECKI et al., 2005).

Muitos desses parâmetros, entretanto, são relevantes do ponto de vista toxicológico quando se considera a exposição aguda, que de fato, representa grande parte dos estudos disponíveis na literatura científica. Estes tratam, em sua maioria, dos efeitos advindos da exposição ocupacional (aplicadores) ou da residência em áreas próximas de áreas com aplicação de agrotóxicos, que se caracterizam como situações de exposição muito específicas, diferente da que grande parte da população está sujeita ao longo da vida.

Nesse sentido, o Grupo de Trabalho JMPR/JECFA da FAO/WHO (2018) concluiu que há necessidade de melhor alinhar os modelos de exposição dietética a serem utilizados na avaliação de risco com o perfil toxicológico dos agrotóxicos. O órgão atualmente considera a exposição dietética de longo prazo (crônica) para a população com base no Sistema de Monitoramento Ambiental Global da WHO (*WHO Global Environment Monitoring System – Food Contamination Monitoring Programme – GEMS/Food*) (estimativa de ingestão diária) e compara essas estimativas com os limites de ADI estabelecidos para caracterizar o risco de cada substância (FAO, 2018b).

Por outro lado, os programas de monitoramento de resíduos de agrotóxicos em alimentos podem ser ferramentas úteis para estimativa da exposição do consumidor e, conseqüentemente, dos efeitos adversos associados.

O relatório da União Europeia sobre ocorrência de resíduos de agrotóxicos em alimentos e riscos associados divulgou dados de 801 agrotóxicos em alimentos de origem vegetal e animal, incluindo alimentos industrializados e destinados à alimentação infantil. O estudo concluiu que a população europeia está pouco propensa a desenvolver patologias em decorrência da ingestão de alimentos com as quantidades residuais de agrotóxicos quantificadas (EFSA, 2019).

No Brasil, funciona o Programa de Análise de Resíduos de Agrotóxicos em Alimentos (PARA). O programa foi criado em 2001 com o objetivo de avaliar continuamente os níveis de resíduos de agrotóxicos em 25 alimentos de origem vegetal consumidos no país (ANVISA, 2016).

Segundo último relatório divulgado pela Agência, do total das amostras monitoradas, 9.680 amostras (80,3%) foram consideradas satisfatórias, sendo que 5.062 destas amostras (42,0%) não apresentaram resíduos dentre os agrotóxicos pesquisados e 4.618 (38,3%) apresentaram resíduos de agrotóxicos dentro do Limite Máximo de Resíduos (LMR),

estabelecido pela Anvisa. Foram consideradas insatisfatórias 2.371 amostras (19,7%), sendo que 362 destas amostras (3,00%) apresentaram concentração de resíduos acima do LMR e 2.211 (18,3%) apresentaram resíduos de agrotóxicos não autorizados para a cultura.

Entretanto, esses resultados não incluíram a análise de alguns ingredientes ativos que exigem o emprego de metodologias específicas. Conforme descrito no próprio relatório, os agrotóxicos glifosato e 2,4-D se enquadram nessa situação. Devido à necessidade de metodologia específica, a análise dessas substâncias sobrecarrega a rotina laboratorial e deve-se, portanto, avaliar em quais casos a pesquisa é efetivamente imprescindível (ANVISA, 2016).

O programa no Brasil, portanto, além de considerar apenas 25 tipos de alimentos de origem vegetal apenas nitidamente subestima a real exposição do consumidor aos resíduos de agrotóxicos em alimentos ao desconsiderar resíduos dos dois principais agrotóxicos utilizados no país.

Em 2019 foram publicados os resultados dos dados referentes ao período de 2017 – 2018. Ao todo, foram analisadas 4.616 amostras de 14 alimentos: abacaxi, alface, arroz, alho, batata-doce, beterraba, cenoura, chuchu, goiaba, laranja, manga, pimentão, tomate e uva e 51,0 % dessas amostras apresentaram resíduos de agrotóxicos. Desses, cinco apresentaram amostras com possibilidade de risco agudo: abacaxi, batata-doce, goiaba, laranja e uva. A laranja foi o alimento com o maior número de amostras em que foi detectado risco agudo, com um total de 27 amostras entre 382 analisadas, principalmente por causa do agrotóxico carbofurano. O programa no Brasil, porém, considerou, novamente, amostras de apenas 14 tipos de alimentos de origem vegetal, desconsiderando assim grande parte da variedade de alimentos consumida no país, além dos minimamente processados, processados e ultraprocessados de origem vegetal ou não, o que nitidamente subestima a real exposição do consumidor aos resíduos de agrotóxicos em alimentos (ANVISA, 2019).

Cabe destacar que a tendência em âmbito mundial é de restringir cada vez mais a comercialização e o uso de agrotóxicos com base em evidências da exposição crônica, juntamente com ensaios toxicológicos com animais e estudos que demonstram seus danos sobre o meio ambiente. A Convenção de Estocolmo sobre Poluentes Orgânicos e Persistentes, por exemplo, assinada por cerca de 120 países, estabeleceu a restrição de uso e o banimento de muitos agrotóxicos, dentre eles doze substâncias cloradas (MMA, 2004).

Um ponto particular abordado na referida Convenção que cabe destacar, foi o reconhecimento da necessidade de considerar as circunstâncias e as necessidades especiais dos países em desenvolvimento, particularmente as dos países menos desenvolvidos, e dos países

com economia em transição, em particular, de fortalecer suas capacidades nacionais para a gestão das substâncias químicas, inclusive mediante a transferência de tecnologia, a prestação de assistência financeira e técnica e a promoção da cooperação entre as Partes.

Os padrões do Sistema Globalmente Harmonizado de Classificação e Rotulagem de Produtos Químicos (*Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals – GHS*) também estabelecem parâmetros de classificação toxicológica de agrotóxicos e atualmente é adotado por países da União Europeia, Ásia e, mais recentemente, Brasil. O GHS foi lançado em 1992, durante a Eco-92, realizada no Brasil, e a harmonização da classificação e rotulagem de produtos químicos é uma das seis áreas programáticas endossadas pela Assembleia Geral da Organização das Nações Unidas (ONU) para fortalecer os esforços internacionais relativos à gestão ambientalmente segura de produtos químicos (ANVISA, 2005). Atualmente 53 países adotam os padrões do GHS e 12 têm sua implementação parcial, como é o caso do Brasil, Austrália e México. No caso brasileiro, regras do GHS já são aplicadas ao uso de produtos químicos e a normas de segurança do Ministério do Trabalho (ANVISA, 2019).

A Anvisa publicou em agosto de 2019 a reclassificação toxicológica dos agrotóxicos já registrados no Brasil com base nos parâmetros estabelecidos pelo GHS. No total, 1.942 produtos foram avaliados pela Agência, sendo que 1.924 foram reclassificados. De acordo com a reclassificação, 43 produtos foram enquadrados na categoria de produtos extremamente tóxicos, 79 na de altamente tóxicos, 136 na categoria de moderadamente tóxicos, 599 na de pouco tóxicos e outros 899 foram classificados como produtos improváveis de causar dano agudo. Outros 168 produtos, ainda, foram categorizados como “não classificados”. Com isso, o Brasil passou a ter regras harmonizadas com as de países da União Europeia e da Ásia, entre outros, fortalecendo a comercialização de produtos nacionais no exterior. O GHS ampliou de quatro para cinco as categorias da classificação toxicológica dos agrotóxicos, além de incluir o item “não classificado”, válido para produtos de baixíssimo potencial de dano, por exemplo, os produtos de origem biológica. Essa ampliação impede uma comparação real entre a classificação toxicológica anterior e a reclassificação atual, que tem como base o no padrão GHS (ANVISA, 2019).

A Anvisa esclarece que o GHS define a classificação para fins de rotulagem do produto de acordo com o desfecho de morte, analisado nos estudos toxicológicos agudos. A proposta é seguir esse sistema de classificação harmonizado globalmente e estabelecer critérios científicos

para comparar a toxicidade (ação tóxica) entre os produtos com base na mortalidade (ANVISA, 2005).

Concomitantemente, a classificação mais recente da ANVISA (2019) sinaliza para a flexibilização e liberação de produtos. Pelas novas normas, agrotóxicos antes considerados “altamente tóxicos”, podem passar para toxicidade moderada, enquanto os “pouco tóxicos” ficam liberados de classificação, ou seja, não apresentarão advertências no rótulo para o consumidor. Na classificação anterior (2017), por exemplo, das 2400 formulações de agrotóxicos registradas, cerca de 800 (33,3%) pertenciam à categoria “extremamente tóxicos”. Com a nova classificação, apenas 43 são classificados como "extremamente tóxicos", o que equivale a 2,2% dos 1924 produtos analisados. Ademais, dos 50 agrotóxicos mais utilizados nas lavouras no Brasil, 22 são proibidos na União Europeia. Na ANVISA eles estão em processo de revisão desde 2008 (CARNEIRO et al., 2012).

Constata-se, portanto, que as legislações entre os países ainda são divergentes no que se refere à liberação de ingredientes ativos. Por exemplo, muitos agrotóxicos proibidos em outros países, em função de seus danos à saúde e ao ambiente, continuam em circulação no Brasil. Segundo a Anvisa, “dos 50 agrotóxicos mais utilizados nas lavouras de nosso país, 22 são proibidos na União Europeia” (CARNEIRO et al., 2015), fazendo do Brasil um importante mercado consumidor desses produtos banidos de outras nações pela gravidade de seus impactos.

Enquanto nota-se a tendência dos países em ser cada vez mais restritivos aos agrotóxicos, no Brasil a bancada ruralista tem representado os interesses do agronegócio nos espaços decisórios do governo e atua sistematicamente para a flexibilização das leis e normas referentes aos agrotóxicos, como é o caso do Projeto de Lei (PL) 6.299/2002 (BRASIL, 2002).

O Projeto de Lei (PL) 6299/02 trata da alteração dos artigos 3º e 9º da Lei de nº 7.802, de 11 de julho de 1989, que regulamenta a pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem e rotulagem, o transporte, o armazenamento, a comercialização, a propaganda comercial, a utilização, a importação, a exportação, o destino final dos resíduos e embalagens, o registro, a classificação, o controle, a inspeção e a fiscalização de agrotóxicos.

Dentre as principais alterações apresentadas, destacam os seguintes pontos:

- Alteração do nome “agrotóxico” para pesticida;
- Possibilidade de liberação de produtos pelo MAPA (emissão de registro temporário) mesmo se os demais órgãos reguladores não tiverem concluído as análises;

- Registro de substâncias após análise de risco que aponte possíveis doses seguras e não a identificação do perigo em causar efeitos teratogênicos, carcinogênicos, mutagênicos, distúrbios hormonais e danos ao aparelho reprodutor, por exemplo, que atualmente é suficiente para que o produto seja proibido pelos órgãos reguladores;
- Possibilidade de venda de algumas substâncias sem receituário agrônômico;
- Poderes estaduais e municipais diminuídos, com centralização do poder na esfera federal;
- Fim da regulação da propaganda, tornando não obrigatória a advertência sobre os riscos do produto;
- Registros de agrotóxicos genéricos sob responsabilidade exclusiva do Ministério da Agricultura, como forma de agilizar os processos, incentivar a concorrência no setor e reduzir custos.

A justificativa para implantação do PL 6299/02 é de que seria necessário agilizar o processo de liberação de novos agrotóxicos para retirar os antigos e mais perigosos do mercado. Porém, os dados disponibilizados pela ANVISA indicam que 290 liberações de agrotóxicos ocorridas em 2019 são de substâncias antigas, sendo 33% delas proibidas na União Europeia, que sedia muitos dos fabricantes dessas substâncias.

Além do PL, com a publicação da Orientação de Serviço 49, por meio da qual incorpora à regulação de agrotóxicos no Brasil o processo de registro por “analogia”, essas medidas são vistas com preocupação por instituições de pesquisa em saúde. Segundo a FIOCRUZ (2018), na prática, essas alterações flexibilizam o processo de registro e acelera os processos de avaliação toxicológica. Porém, há controvérsias sobre a segurança de produtos aprovados por analogia, em especial diante da realidade de uso de agrotóxicos no Brasil. Ainda, deve-se questionar o porquê dessa alteração quando a Anvisa tem condições técnicas de conduzir avaliações mais completas.

Ainda segundo a FIOCRUZ (2018), além da flexibilização e estímulo ao uso deliberado de agrotóxicos, essas políticas também podem afetar negativamente iniciativas destinadas ao fortalecimento da agricultura familiar, da produção orgânica e da agroecologia tais como os programas de Aquisição de Alimentos (PAA), de Assistência Técnica e Extensão Rural (Ater) e o Programa Nacional de Educação na Reforma Agrária (Pronera).

2.3 O Que a ciência evidencia

2.3.1 Agrotóxicos e saúde

Os efeitos de agrotóxicos na saúde é tema que causa preocupação há décadas, no Brasil e no mundo. Seu uso em massa se iniciou na década de 1950 nos Estados Unidos na chamada “Revolução Verde”, com o objetivo de modernizar a agricultura e aumentar a produtividade de alimentos (LOPES et al., 2018). Porém, com o passar do tempo, os estudos científicos passaram a comprovar, além da contaminação dos alimentos, do solo, das águas e do ar, seus efeitos tóxicos aos seres vivos (EVANGELOU et al., 2016).

Em 1979, pouco mais de uma década de a Revolução Verde ter entrado no Brasil, foi instalada uma Comissão Parlamentar de Inquérito (CPI) para investigar “a contaminação de alimentos por excesso de aditivos e a eficácia dos controles atualmente existentes”, entre as questões sobre o uso de agrotóxicos (BRASIL, 1979).

Na literatura científica, há muitas evidências sobre as consequências desses produtos sobre a saúde da população, principalmente nos trabalhadores e comunidades rurais, e no meio ambiente quando expostos a doses agudas. Os agricultores constituem o grupo de maior risco aos efeitos adversos de agrotóxicos pois são expostos a vários tipos de ingredientes ativos simultaneamente, em quantidades agudas, seja pela manipulação direta, armazenamento inadequado, reaproveitamento de embalagens, contaminação da água, contato com roupas contaminados e no manuseio da lavoura (STOPPELLI et al., 2005).

Esses problemas são ainda mais preocupantes quando se considera o nível de educação dos trabalhadores que manipulam agrotóxicos. Em estudo sobre o impacto do uso de agrotóxicos sobre a saúde do trabalhador rural, Bohner et al. (2013) demonstraram que a maioria dos agricultores não lê sempre o receituário agrônomo e não compreende totalmente as informações contidas na bula, as tarjas e os desenhos presentes nos rótulos dos agrotóxicos. Além disso, a maior parte dos agricultores faz o uso parcial dos Equipamentos de Proteção Individual. Em relação ao armazenamento dos agrotóxicos, grande parte dos agricultores revelou não os sinalizar adequadamente. Além disso, muitos não sabem diferenciar um agrotóxico contrabandeado de um produto legal.

Moradores de áreas próximas aos campos de aplicação também estão sujeitos à exposição direta e intensiva desses produtos, principalmente em regiões que recebem a aplicação aérea. A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (CHAIM, 2004) alerta para a

alta periculosidade dessa prática. Segundo a empresa, normalmente ocorre uma “deriva técnica”, de maneira que os atuais equipamentos de pulverização – mesmo com calibração, temperatura e ventos ideais – deixam 32% dos agrotóxicos pulverizados retidos nas plantas; outros 49% vão para o solo e 19% vão pelo ar para outras áreas circunvizinhas da aplicação.

De fato, muitos estudos demonstram a associação entre a exposição ocupacional aos agrotóxicos e doenças. O amplo espectro de efeitos que os agrotóxicos causam à saúde envolve dados agudos e persistentes sobre o sistema nervoso, sistema respiratório, órgãos reprodutivos além de disfunções imunológicas e endócrinas (THOMPSON; DARWISH, 2019; BERG et al., 2019; TUAL et al., 2019; POUZOU et al., 2019; QUANSAH et al., 2019; SAPBAMRER et al., 2018).

Outra causa de preocupação é a capacidade dos agrotóxicos em atuar como agentes genotóxicos e mutagênicos, que compreendem os danos mais sérios causados pelos agrotóxicos, além da letalidade. Os agentes genotóxicos interagem quimicamente com o material genético, trazendo alterações oxidativas ou mesmo quebras da molécula do DNA. Em alguns casos, o dano é reparado pelo próprio organismo ou então a célula é eliminada. Caso essa lesão seja fixada, provoca alterações hereditárias (mutações), que podem se perpetuar nas células filhas durante o processo de replicação, gerando efeito mutagênico (SILVA, 2012).

Muitos agrotóxicos têm sido classificados como potenciais mutagênicos, como é o caso dos inseticidas organofosforados. Esses produtos são muito tóxicos aos mamíferos, pois inibem a enzima acetilcolinesterase, provocando acúmulo de acetilcolina nos tecidos nervosos, prejudicando a neurotransmissão (MCCARROLL et al., 2002; ANJUM; MALIK, 2013; DAVOREN; SCHIESTL, 2018; RASHIDIPOUR et al., 2019).

Pignati et al. (2017), em estudo sobre a espacialização do uso de agrotóxicos no Brasil, juntamente com dados obtido pelo Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde do Brasil (DATASUS) relataram que as intoxicações por agrotóxicos ocuparam o segundo lugar dentre todas as intoxicações exógenas. Houve um crescente número de casos de intoxicação aguda por agrotóxicos e da incidência no decorrer dos anos, apresentando a mais elevada letalidade dentre todos agentes tóxicos. Por bioestatística houve associação positiva e significativa entre a produção agrícola das culturas estudadas e o respectivo consumo (pulverização) de agrotóxicos com as incidências médias de intoxicação por agrotóxicos agrícolas entre todas as unidades federativas e respectivas regiões mais produtoras agrícolas dentro de cada estado brasileiro. As intoxicações ocupacionais ocorreram prioritariamente com agrotóxicos agrícolas e de saúde pública. Metade das intoxicações por agrotóxicos agrícolas

decorreram da lavoura de soja, milho, arroz, pastagem e algodão. As intoxicações por agrotóxicos de Saúde Pública e agrícola ocorreram, na sua maioria, na forma de acidente de trabalho e houve emissão de Comunicação de Acidente de Trabalho (CAT) em menos de 10%. De maneira semelhante encontrou-se associação estatística da produção agrícola das culturas estudadas e o respectivo consumo (pulverização) de agrotóxicos com as incidências médias de malformações congênitas e cânceres infanto-juvenis nas regiões mais produtoras de cada estado brasileiro.

Independente da exposição aguda e direta, todas as pessoas são inevitavelmente expostas aos agrotóxicos através da contaminação ambiental ou ocupacional. A população em geral está exposta aos resíduos de agrotóxicos, incluindo os produtos de degradação físicos e biológicos no ar, água e alimentos.

A ingestão de alimentos contaminados por resíduos de agrotóxicos é considerada rota primária de exposição para a maioria dos agrotóxicos pela população. Além dos alimentos *in natura* e minimamente processados de origem vegetal e animal, como leite e carnes frescas, é importante destacar que os resíduos dos agrotóxicos também podem estar presentes nos alimentos ultraprocessados que têm como ingredientes o trigo, o milho, a cana-de-açúcar e a soja, por exemplo (INCA, 2019).

No entanto, as evidências científicas que demonstram os efeitos advindos dessa exposição, considerada crônica, na qual grande parte da população está exposta ao longo da vida, ainda são limitadas. Soma-se a esse contexto a própria dificuldade e limitação em se conduzir estudos experimentais precisos e consistentes com a realidade na qual grande parte da população está exposta, seja pela dificuldade de se obter dados quantitativos capazes de produzir evidências sólidas ou pelas próprias limitações éticas intrínsecas.

A saber, são opções de estudos para coleta de dados sobre efeito de agrotóxicos com humanos (SOLECKI et al., 2005):

- Estudos de caso de envenenamentos propositais ou acidentais: normalmente envolvem doses agudas, em curto espaço de tempo. A investigação desses casos fornece informações úteis sobre a resposta do organismo humano em comparação com estudos toxicológicos com animais em laboratório;
- Estudos epidemiológicos: em geral, não medem a exposição ao agrotóxico diretamente, mas propõem a associação semi-quantitativa entre exposição estimada (proximidade com as fontes de aplicação, por exemplo) e efeitos à saúde por modelos probabilísticos;

- Estudos de monitoramento: fornecem previsões da associação entre exposição e efeitos sobre marcadores biológicos específicos de forma realística, mas sem dados quantitativos consistentes;
- Estudos clínicos: utilização de dados obtidos em experimentos com medicamentos pela indústria farmacêutica que se assemelham a determinados agrotóxicos (como fungicidas, por exemplo), que podem ser utilizados para determinação de limites de ingestão/exposição seguros;
- Ensaio voluntários: avaliação de risco mais precisa, pois reduz incerteza do extrapolamento de dados animais para humanos. Porém, deparam com questões éticas, uma vez que um voluntário de pesquisa nunca deve ser exposto propositalmente a condições que não lhe trazem benefícios.

Duas particularidades, entretanto, devem ser acentuadas quando se examinam os efeitos adversos desses produtos sobre a saúde humana: os efeitos inter-relacionados – persistência dos resíduos no ambiente e nos alimentos – e os danos para a saúde, os quais são geralmente insidiosos e aparecem depois de um longo tempo. Nesse sentido, tem-se como exemplo o caso da atrazina, herbicida proibido na Alemanha desde 1991 cujos metabólitos ainda podem ser encontrados no meio ambiente, depois de todos esses anos. A persistência do referido herbicida no ambiente gera uma grande preocupação, em virtude do potencial cancerígeno e endócrino da atividade desse produto químico (FERREIRA, 2015).

No que se refere especificamente aos riscos para a saúde humana, o Instituto Nacional do Câncer (INCA), por exemplo, já alertou a sociedade brasileira para o fato de que, considerando o potencial cancerígeno (em longo prazo) e intoxicante (em curto prazo), a atitude mais adequada é não utilizar agrotóxicos. Destacou ainda que proteções individuais ou barreiras locais não impedem que a substância atinja lençóis freáticos e atue em áreas muito distantes da original. Segundo o INCA, as medidas de controle são “paliativos que devem ser adotados em um período determinado, tendo em conta que uma política maior de proibição do uso e [de] estímulo a culturas livres de agrotóxico precisa ser implantada nas regiões (INCA, 2010)

2.3.2 Impactos ambientais

Do ponto de vista ambiental, o melhor sistema de classificação de agrotóxico é baseado no mecanismo de ação tóxica e na estrutura química. O conhecimento do mecanismo de ação

bioquímico permite que a previsão dos prováveis organismos não-alvo seja mais apropriada. Solomon et al. (2010), sugere a seguinte classificação: agrotóxicos que afetam a fotossíntese, neurotóxicos, inibidores da mitose em plantas, miméticos hormonais e reguladores de crescimento que afetam membranas e agrotóxicos que afetam reações metabólicas.

Portanto, o próprio mecanismo que define sua aplicação é o que determina seus impactos ambientais, sobretudo sobre a diversidade. Isso porque, no sentido agrônômico, uma praga é qualquer espécie de planta, animal, ou micro-organismo que ameace a saúde e o bem-estar humanos. No entanto, a maioria delas se encaixa em nichos ecológicos específicos e tem funções importantes para a integridade dos ecossistemas, inclusive quando não são diretamente úteis aos humanos. Assim, uma praga raramente é só uma praga (ROBSON; HAMILTON, 2010).

Isso é ainda mais preocupante uma vez que além do desconhecimento de muitos mecanismos de atuação e efeitos sobre o ecossistema que os ingredientes ativos exercem, menos ainda se sabe sobre os metabólitos gerados a partir deles.

O uso da terra também é diretamente correlacionado com o uso de agrotóxicos. Schreinemacher e Tipraqsa (2012), por exemplo, ao analisar a intensidade de uso de agrotóxicos em 119 países a partir de dados da FAO, demonstraram que o crescimento de 1% na produtividade é associado com o crescimento de 1,8% no uso de agrotóxicos por hectare. Os resultados também mostram crescimento muito rápido na intensidade do uso de agrotóxicos em vários países em desenvolvimento, como Brasil, México, Uruguai, Camarões, Malásia e Tailândia.

De fato, os estudos têm demonstrado o desequilíbrio ambiental ocasionado pelo uso de agrotóxicos, podendo contaminar o solo, a água, e vegetações. Além de eliminar agentes patogênicos, os agrotóxicos podem ser tóxicos para uma série de outros organismos, incluindo pássaros, peixes, insetos e plantas não-alvo. Os inseticidas geralmente são a classe de agrotóxicos mais tóxicos, mas os herbicidas também podem representar riscos para os organismos não-alvo (AKTAR et al., 2009).

Promovem também o desenvolvimento da capacidade de resistência das pragas agrícolas a estes produtos, levando à necessidade de aumentar as doses aplicadas ou recorrer a novos produtos, tem proporcionado o surgimento de novas pragas e impactando sobre comunidades de insetos controladores de vetores de doenças (ALMEIDA et al., 2017).

É o que acontece com alguns OGM, que são tidos como alternativas para reduzir alguns dos efeitos nocivos dos agrotóxicos. No entanto, os estudos sugerem que a rápida difusão de

culturas à base de *Bacillus thuringiensis* geneticamente modificadas leva à resistência a pragas. Um problema semelhante ocorre com algumas culturas tolerantes a herbicidas, como o glifosato. A disseminação dessas culturas pode resultar na transferência de suas qualidades genéticas para as ervas daninhas, criando gerações de resistência das ervas daninhas aos herbicidas e, assim, reduzindo o rendimento das culturas concomitantemente ao maior uso de agrotóxicos (DROGUI; LAFRANCE, 2012).

Intrinsecamente, há também o problema do próprio modelo do agronegócio, que pelo predomínio das grandes monoculturas, contribui progressivamente para a perda da biodiversidade, para o desmatamento e limitação de variedades de alimentos disponíveis ao consumidor. É sabido que ao longo dos anos, esse modelo vem causando rápida e intensa mudança no uso da terra, produzindo impactos ambientais sobre a fauna, flora, solo, água e ar, com consequente redução da biodiversidade (GEIGER et al., 2010; ALMEIDA et al., 2017).

2.4 Contrapontos entre evidências científicas e políticas públicas adequadas

Um dos maiores desafios para a humanidade nos últimos tempos, é a produção de alimentos seguros e em quantidades suficientes para uma população em plena expansão (FEDEL, 2018). Dentro do modelo agrícola de produção, os agrotóxicos são considerados indispensáveis, principalmente em climas favoráveis ao desenvolvimento de pragas (como o clima tropical do Brasil). Assim, o uso de agrotóxicos se justifica por ele contribuir para o aumento da produtividade nas lavouras, permitindo assim o aumento da produção sem expansão de áreas, a produção em larga escala (SYNGENTA, 2018).

Porém, como citado anteriormente, seu uso tem resultado em efeitos adversos em diferentes compartimentos, sendo considerado um dos principais poluentes químicos que se difundem pelo planeta. Soma-se a este problema, o notável aumento da resistência das pragas aos ingredientes ativos tradicionalmente utilizados nos produtos, além da dificuldade de encontrar novas substâncias que tenham o mesmo efeito das em uso atualmente (CARRIÈRE et al., 2018).

Por outro lado, cada vez mais as evidências científicas indicam que a produção de alimentos está entre os maiores impulsionadores das mudanças ambientais globalmente, contribuindo para as mudanças climáticas, perda de biodiversidade, uso de água potável, interferência nos ciclos globais de nitrogênio e fósforo e alterações no sistema terrestre e poluição química. A produção de alimentos depende do funcionamento contínuo dos sistemas

e processos biofísicos para regular e manter um sistema terrestre estável. Portanto, esses sistemas e processos fornecem um conjunto global de indicadores sistêmicos da produção sustentável de alimentos. Como os sistemas alimentares são os principais impulsionadores de problemas de saúde e degradação ambiental, são urgentemente necessários esforços globais para transformar coletivamente a produção de alimentos e as práticas alimentares (WILLETT et al., 2019).

Como então falar em produção de alimentos e segurança alimentar e nutricional quando o próprio sistema produtivo de alimentos promove alterações desfavoráveis aos seres humanos e ao meio ambiente, ao preconizar o uso de substâncias tóxicas e contaminantes em sua origem?

Atualmente, quase metade da população mundial não se alimenta adequadamente. A tripla fronteira da desnutrição (subnutrição, deficiências nutricionais e sobrepeso/obesidade) representa sérios desafios e tende a ser intensificada. Estatísticas recentes mostram que, enquanto 800 milhões de pessoas passam fome e 2 milhões sofrem de deficiências nutricionais, mais de 2 bilhões de adultos estão com sobrepeso ou obesidade no mundo (WORLD BANK, 2016).

Soma-se a este cenário a alta incidência de doenças crônicas não-transmissíveis (DCNT), que tendem a ser doenças de longa duração e são resultantes da combinação de fatores genéticos, fisiológicos, ambientais e comportamentais. Em países em desenvolvimento, especialmente, essas doenças afetam grande parte dos indivíduos, sendo responsáveis por mais de 31 milhões de mortes, e são intensificadas pela urbanização não planejada, adoção de estilos de vida não saudáveis (dietas desbalanceadas e sedentarismo) e envelhecimento da população. Os números divulgados pela Organização Mundial de Saúde (WHO) em 2017 apontam que, anualmente, 4,1 milhões das mortes no mundo podem ser atribuídas ao consumo excessivo de sódio, 1,6 milhões ao sedentarismo e 7,2 milhões ao tabaco, sendo as principais doenças decorrentes destas condições as doenças cardiovasculares, câncer, doenças respiratórias e diabetes (WHO, 2017).

No Brasil, este contexto é semelhante. Nas últimas décadas o país passou por diversas mudanças políticas, econômicas, sociais e culturais que evidenciaram transformações no modo de vida da população. A ampliação de políticas sociais na área de saúde, educação, trabalho e emprego e assistência social contribuiu para a redução das desigualdades sociais e permitiu que o País crescesse de forma inclusiva. Também se observou rápida transição demográfica, epidemiológica e nutricional, apresentando como consequência maior expectativa de vida e redução do número de filhos por mulher, além da inserção delas no mercado de trabalho,

trazendo mudanças importantes no padrão de saúde e consumo alimentar da população brasileira (BRASIL, 2014).

As principais doenças que atualmente acometem os brasileiros deixaram de ser agudas e passaram a ser crônicas. Apesar da intensa redução da desnutrição em crianças, as deficiências de micronutrientes e a desnutrição crônica ainda são prevalentes em grupos vulneráveis da população, como em indígenas, quilombolas e crianças e mulheres que vivem em áreas vulneráveis. Simultaneamente, o Brasil vem enfrentando aumento expressivo do sobrepeso e da obesidade em todas as faixas etárias, e as doenças crônicas são a principal causa de morte entre adultos. O excesso de peso acomete um em cada dois adultos e uma em cada três crianças brasileiras (BRASIL, 2014).

De fato, muitas destas condições são explicadas por alterações no padrão alimentar dos indivíduos, que levam à nutrição inadequada, caracterizando o consumo de grande quantidade de alimentos industrializados, não nutritivos, produzidos de forma não sustentável e comercializados a baixo custo, trazendo assim vantagens competitivas frente à comercialização de alimentos in natura (WORLD BANK, 2017).

Fundamentalmente, isso significa que a implementação de estratégias para promoção da saúde e controle de fatores de risco ligados às DCNT proposta por políticas públicas são diretamente conflituosas com os interesses do setor privado, representado basicamente pelas indústrias agropecuárias e de alimentos. No entanto, é evidente que, globalmente, esses atores têm participação integral na promoção da saúde da população e ainda na sustentabilidade do planeta. Desta forma, o desenvolvimento de sistemas alimentares inclusivos, sustentáveis, eficientes, nutricionalmente favoráveis e saudáveis são requisitos fundamentais a serem priorizados pelos setores públicos e privados (WORLD ECONOMIC FORUM, 2017).

Para compreender essas considerações, portanto, é importante conhecer o conceito de alimentação, em seu sentido mais completo. A alimentação constitui uma das atividades humanas mais importantes, não só por razões biológicas evidentes, mas também por envolver aspectos econômicos, sociais, científicos, políticos, psicológicos e culturais fundamentais na dinâmica da evolução das sociedades. Os recursos econômicos envolvidos em alimentação, em termos de mercado, são consideráveis, perfazendo um montante bastante superior àqueles relativos a outros setores (PROENÇA, 2010).

A alimentação também é atividade dinâmica, que evolui com o tempo e é influenciada por fatores como renda, preço, preferências individuais, hábitos culturais, bem como

localização geográfica, ambiente econômico e social, os quais ditam as características e os padrões de comportamento e consumo (WHO, 2003).

Ribeiro, Constante e Deisy (2017), por sua vez, ressaltam que a alimentação é uma atividade que vai além do ato de comer e da disponibilidade de alimentos. Há uma cadeia de produção, que se inicia no campo, ou antes, na preparação de sementes, mudas e insumos, passando por ciclos, do plantio à colheita, em que elementos da natureza têm um papel crucial, mas que vêm sendo, cada vez mais, envolvidos por questões tecnológicas, financeiras e sociais.

Desta forma, as mudanças nas práticas agrícolas das últimas décadas aumentaram a capacidade de fornecimento de alimentos para os indivíduos por meio do aumento da produtividade e diminuição da dependência sazonal. A disponibilidade e o processamento de alimentos também aumentaram como consequência do aumento do poder aquisitivo da população, diminuição dos preços dos produtos, os quais contribuíram expressivamente para alterar os padrões de consumo de alimentos (KEARNEY, 2010).

Mas, concomitantemente, uma das questões mais evidentes sobre a alimentação atual é o processo de distanciamento humano em relação aos alimentos. A história da alimentação humana reflete que a preocupação constante com a busca/produção de alimentos vem passando por modificações tanto na forma de produzir quando de distribuir os alimentos. As possibilidades tecnológicas de produção de alimentos em larga escala e sua conservação por longo tempo, bem como a viabilidade global de transporte e negociação desses itens, vêm ocasionando a ruptura espacial e temporal da produção e do acesso. O modelo atual do agronegócio e a industrialização são percebidos como processos que podem distanciar o alimento das pessoas, na medida em que, muitas vezes, pode dificultar a percepção da origem e/ ou dos ingredientes que compõem um determinado alimento (PROENÇA, 2010). Ademais, a ausência de contato de grande parte da população com o segmento de produção de alimentos mudou o caráter das interações no sistema alimentar e criou atores, novas disposições nas relações de poder (BIANCO, 2008).

Pelo predomínio da produção de grandes commodities, há também, por pressão econômicas, o aumento na oferta de alimentos ultraprocessados elaborados a partir delas, que impacta diretamente na qualidade da alimentação do consumidor, exposto, hoje, a práticas alimentares cada vez mais monótonas e pouco diversificadas, distanciadas de seus valores culturais e sociais.

Em essência, isso converge ao pensamento do biopoder proposto por Michel Foucault. (FOUCAULT, 1979), em referência à prática dos estados modernos e sua regulação dos que a

ele estão sujeitos por meio de técnicas para obter a subjugação dos corpos e o controle de populações.

A partir desse conceito, argumenta-se que os discursos produzidos no campo colocam, frente a frente, interesses hegemônicos e contra hegemônicos, disputas políticas travestidas de discussões epistemológicas “abstratas”, estratégias de sedução, normatização e medicalização da vida. Tais discursos traduzem instâncias de poder em confronto, interesses econômicos, conflitos estruturais, embates políticos (FERREIRA et al., 2015).

Há argumentos que defendem a agricultura convencional e o agronegócio como o único modelo capaz de produzir alimentos em quantidade suficiente para atender as demandas populacionais no presente e no futuro e assim, garantir a segurança alimentar e nutricional (RADLEY; PURCHASE, 2017). No entanto, é importante mencionar que a (in)segurança alimentar e nutricional não é resultado apenas de baixa produtividade agrícola, mas predominantemente das dimensões socioeconômicas e políticas envolvidas nessa dinâmica que, na maioria das vezes, não garantem acesso aos alimentos em quantidade e qualidade suficiente pela população pela sua abordagem reducionista, focada unicamente na maximização da produção e, conseqüentemente dos lucros (DESJARDINS et al., 2016; HALBERG et al., 2006).

Há também o problema do próprio modelo do agronegócio que se caracteriza como sistemas alimentares que operam baseados em monoculturas que fornecem matérias-primas para a produção de alimentos ultraprocessados ou para rações usadas na criação intensiva de animais, que dependem de grandes extensões de terra, do uso intenso de mecanização, do alto consumo de água e de combustíveis, do emprego de fertilizantes químicos, sementes transgênicas, agrotóxicos e antibióticos e, ainda, do transporte por longas distâncias (CARNEIRO et al., 2015).

Percebe-se, assim, que o modelo agrícola de desenvolvimento, adotado a partir da Revolução Verde, se, por um lado, promoveu aumento na produtividade, expansão das fronteiras agrícolas e diminuição da penosidade do trabalho, por meio da intensificação do uso de máquinas agrícolas; por outro, resultou em estímulo à utilização de sementes híbridas, fertilizantes químicos, agrotóxicos e drogas veterinárias, uso intensivo do solo, redução da biodiversidade, êxodo rural e aumento da concentração fundiária. Não obstante, a realidade de fome e insegurança alimentar e nutricional não foi reduzida. Contrariamente, o que se observou foram efeitos negativos à saúde humana e ao meio ambiente (KATHOUNIAN, 2001; NAVOLAR et al., 2010).

2.5 Alternativas e Desafios

Diante dos inúmeros desafios que se impõem com os complexos problemas socioambientais, faz-se necessário produzir conhecimento contextualizado e crítico, pautado pela inclusão do contexto socioambiental nos diferentes estudos. O desafio está especialmente posto para o campo da toxicologia aplicada, havendo questões epistêmicas, metodológicas, técnicas, bioéticas e de políticas de saúde que devem ser examinadas (FIOCRUZ, 2018).

Essas preocupações e evidências têm levado à elaboração de regulamentações para uso desses produtos, em todo o mundo. Além disso, têm levado ao desenvolvimento de novas formas de combate a pragas, em que se destaca o Manejo Integrado de Pragas, um enfoque que utiliza diversas técnicas de controle (físico, mecânico, biológico e químico, além de monitoramento de pragas, educação dos consumidores, técnicas culturais de manejo, salubridade e manejo de resíduos sólidos) para manter, ou administrar, a população de pragas em níveis inferiores aos que provocam dano econômico, ao mesmo tempo que garantam a qualidade do ambiente e protejam a saúde humana (KIM et al., 2017).

Considerando que a agenda de enfrentamento dos efeitos dos agrotóxicos na saúde humana e no ambiente deve ser acompanhada por esforços institucionais de promoção e divulgação de experiências agroecológicas para a construção de uma sociedade mais saudável e sustentável, abre-se aqui também um espaço para demonstrar que o avanço da agroecologia deve fazer parte das ações intersetoriais voltadas para a promoção da saúde, abrangendo os territórios onde vivem e trabalham as pessoas. Igualmente, a compreensão dos danos à saúde decorrentes do uso de ingredientes ativos no controle de doenças transmitidas por vetores é uma necessidade da saúde pública (FIOCRUZ, 2018).

Neste aspecto, o Guia Alimentar para a População Brasileira publicado em 2014 se coloca como instrumento importante para apoiar e incentivar práticas alimentares saudáveis e sustentáveis em âmbito individual e coletivo, bem como para subsidiar políticas, programas e ações que visem a incentivar, apoiar, proteger e promover a saúde e a segurança alimentar e nutricional da população. Em uma de suas orientações, a alimentação adequada e saudável é colocada como aquela derivada de sistema alimentar socialmente e ambientalmente sustentável, que diverge do modelo convencional predominante atualmente, principalmente no que se refere às técnicas de cultivo, uso de fertilizantes, controle biológico, conservação e biodiversidade do meio ambiente, capilaridade do mercado e distanciamento do consumidor (BRASIL, 2014).

A agricultura orgânica é uma outra opção, que tem recebido, cada vez mais, adesão de consumidores, juntamente com os alimentos in natura e minimamente processados, além de redução no consumo de carne.

Importante considerar também não apenas a relevância nutricional de alimentos orgânicos, mas também, sua representação social, econômica, política, ambiental e cultural, indo de encontro às recomendações e orientações dadas pelos principais órgãos e entidades voltadas para a saúde pública mundial, principalmente no que se refere a adoção e manutenção de práticas alimentares sustentáveis (STRASSNER et al., 2015), ao mesmo tempo em que se discute os impactos da agricultura convencional, pautada no modelo do agronegócio e na dependência no uso de agrotóxicos.

Segundo o Guia Alimentar, o consumo de alimentos orgânicos pode ser visto como um dos pilares para práticas alimentares saudáveis e sustentáveis, ao afirmar que:

“Alimentos de origem vegetal ou animal oriundos de sistemas que promovem o uso sustentável dos recursos naturais, que produzem alimentos livres de contaminantes, que protegem a biodiversidade, que contribuem para a desconcentração das terras produtivas e para a criação de trabalho e que, ao mesmo tempo, respeitam e aperfeiçoam saberes e formas de produção tradicionais são chamados de alimentos orgânicos e de base agroecológica. Quanto mais pessoas buscarem por alimentos orgânicos e de base agroecológica, maior será o apoio que os produtores da agroecologia familiar receberão e mais próximos estaremos de um sistema alimentar socialmente e ambientalmente sustentável.” (BRASIL, 2014)

Ao redor de tudo isso, uma questão fundamental é a atuação parceira junto a universidades, entidades nacionais e internacionais, organizações da sociedade civil e fóruns que objetivam a discussão dessa temática de forma independente e sustentada em evidências científicas (FIOCRUZ, 2018).

Finalmente, ressalta-se a necessidade de educação do consumidor em relação ao cultivo de alimentos mais seguro e à criação de animais, práticas alimentares mais adequadas, nutricionalmente balanceadas e ambientalmente sustentáveis (THOMPSON; DARWISH, 2019).

3 REFERÊNCIAS

AKTAR, M.W.; SENGUPTA, D., CHOWDHURY, A. Impact of pesticides use in agriculture: their benefits and hazards. **Interdisciplinary Toxicology**, v. 2, n. 1, p.1-12, 2019. doi: 10.2478/v10102-009-0001-7.

ALMEIDA, M. D. *et al.* The flexibilization of the Brazilian legislation on pesticides and the risks to human health: analysis of Bill of Law 3,200/2015. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 33, n. 7, 2017.

ANVISA – AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Anvisa aprova novo marco regulatório para agrotóxicos**. 2019. Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br>. Acesso em 12 nov. 2019.

ANVISA – AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **O que é GHS? - Sistema harmonizado globalmente para a classificação e rotulagem de produtos químicos**, Associação Brasileira da Indústria Química, Departamento de Assuntos Técnicos (ed.); ABIQUIM/DETEC: São Paulo, 2005.

ANVISA – AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Programa de Análise de Resíduos de Agrotóxicos em Alimentos (PARA)**. 2016. Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br/programa-de-analise-de-registro-de-agrotoxicos-para>. Acesso em: 12 nov. 2019.

ANJUM, R.; MALIK, A. Evaluation of mutagenicity of wastewater in the vicinity of pesticide industry. **Environmental Toxicology and Pharmacology**, v. 35, n. 2, p. 284-291, 2013.

BEDOR, C. N. G. **Estudo do potencial carcinogênico dos agrotóxicos empregados na fruticultura e sua implicação para a vigilância da saúde**. 2008. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Saúde Pública)–Fundação Oswaldo Cruz, Recife.

BERG, Z. K. *et al.* Association Between Occupational Exposure to Pesticides and Cardiovascular Disease Incidence: The Kuakini Honolulu Heart Program. **Journal of the American Heart Association**, v. 8, n. 19, p. e012569, 2019.

BIANCO, A. L. **A construção das alegações de saúde para alimentos funcionais**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Secretaria de Gestão e Estratégia, Brasília, DF (Brazil). 2008. EMBRAPA Informação Tecnológica. 116 p.

BOHNER, T. O.; ARAÚJO, L. E. B.; NISHIJIMA, T. O Impacto Ambiental Do Uso De Agrotóxicos No Meio Ambiente E Na Saúde Dos Trabalhadores Rurais. **Revista Eletrônica do Curso de Direito da UFSM**, v. 8, 2013.

BRASIL. CÂMARA DOS DEPUTADOS. **RQC 19/79, 26 de abril de 1979**. Autor: Julianelli, Salvador. Cria, nos termos do artigo 37 da Constituição Federal e artigo 36, e seus parágrafos, do Regimento Interno, uma Comissão Parlamentar de Inquérito, destinada a

apurar a contaminação de alimentos por excesso de aditivos e a eficácia dos controles atualmente existentes. Brasília: Câmara dos Deputados, 1979.

_____. **Lei nº 7.802, de 11 de julho de 1989.** Dispõe sobre a pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem e rotulagem, o transporte, o armazenamento, a comercialização, a propaganda comercial, a utilização, a importação, a exportação, o destino final dos resíduos e embalagens, o registro, a classificação, o controle, a inspeção e a fiscalização de agrotóxicos, seus componentes e afins, e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 12 jul. 1989.

_____. **Decreto nº 98.816, de 11 de janeiro de 1990.** Regulamenta a Lei nº 7.802, de 1989, que dispõe sobre a pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem e rotulagem o transporte, o armazenamento, a comercialização, a propaganda comercial, a utilização, a importação, exportação, o destino final dos resíduos e embalagens, o registro, a classificação, o controle, a inspeção e a fiscalização de agrotóxicos, seus componentes e afins, e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 12 jan. 1990.

_____. **Decreto nº 4.074, de 04 de janeiro de 2002.** Regulamenta a Lei nº 7.802, de 11 de julho de 1989, que dispõe sobre a pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem e rotulagem, o transporte, o armazenamento, a comercialização, a propaganda comercial, a utilização, a importação, a exportação, o destino final dos resíduos e embalagens, o registro, a classificação, o controle, a inspeção e a fiscalização de agrotóxicos, seus componentes e afins, e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 05 jan. 2002.

_____. **Projeto de Lei n. 6299, de 2002.** Altera so arts. 3º e 9º da Lei nº 7.802, de 11 de julho de 1989. 2002. Disponível em: https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra?codteor=1463789&filenam e=PL+6299/2002. Acesso em: 12 nov. 2019.

_____. **Guia alimentar para a população brasileira: promovendo a alimentação saudável.** Ministério da Saúde: Brasília, 2014.

CARNEIRO, FF; BÚRIGO, AB; DIAS, AP. **Saúde no campo.** In: CALDART, RS et al. (orgs.). Dicionário da educação do campo. Rio de Janeiro: Escola Politécnica de Saúde Joaquim Venâncio; São Paulo: Expressão Popular, 2012.

CARNEIRO, F. F. **Dossiê ABRASCO: um alerta sobre os impactos dos agrotóxicos na saúde.** EPSJV/Expressão Popular, 2015. 8598768804.

CARRIERE, Y. *et al.* Governing evolution: A socioecological comparison of resistance management for insecticidal transgenic Bt crops among four countries. *Ambio*, v. 49, n. 1, p. 1-16, 2018.

CASSOL, A.; SCHNEIDER, S. Produção e consumo de alimentos: novas redes e atores. *Lua Nova: Revista de Cultura e Política*, São Paulo, n. 95, maio-ago 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/0102-6445143-177/95>>. Acesso em: 10 nov. 2019.

CEE – CENTRO DE ESTUDOS ESTRATÉGICOS DA FIOCRUZ. **Entenda o que é o glifosato, o agrotóxico mais vendido do mundo.** 2019. Disponível em: <https://cee.fiocruz.br/?q=node/987>. Acesso em 12 nov. 2019.

CHAIM, A. **Tecnologia de aplicação de agrotóxicos: fatores que afetam a eficiência e o impacto ambiental.** In: SILVA, Célia Maria Maganhoto de Souza; FAY, Elisabeth Francisconi (Orgs.). *Agrotóxicos & ambiente*. Brasília: Embrapa; 2004. p. 317.

DAVOREN, M. J.; SCHIESTL, R. H. Glyphosate-based herbicides and cancer risk: a post-IARC decision review of potential mechanisms, policy and avenues of research. *Carcinogenesis*, v. 39, n. 10, p. 1207-1215, 2018.

DESJARDINS, Y. Are organically grown fruits and vegetables nutritionally better than conventional ones? Revisiting the question with new eyes. *Acta Horticulturae*, n. 1137, p. 187-200, 2016.

DROGUI, P.; LAFRANCE, P. **Pesticides and sustainable agriculture.** In: *Farming for food and water security*. Springer, Dordrecht, 2012.

EFSA. The 2017 European Union report on pesticide residues in food. *EFSA Journal*, v. 17, n. 6, 2019.

EVANGELOU, E. *et al.* Exposure to pesticides and diabetes: a systematic review and meta-analysis. *Environment International*, v. 91, p. 60-68, 2016.

FADEL, J. G. Feed-to-Food Conversion: Contributions to Society. In: **Encyclopedia of Animal Science-(Two-Volume Set)**: CRC Press, 2018. p. 422-426.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **Agricultural Database.** 2004. Disponível em URL:<http://www.fao.org> . Acesso em 12 nov. 2019.

_____. **The International Code of Conduct on Pesticide Management.** FAO/WHO: Rome, 2014. 52 p.

_____. **The State of Agricultural Commodity Markets 2018.** Agricultural trade, climate change and food security. FAO/WHO: Rome, 2018a.

_____. **Report of the Joint Meeting of the FAO Panel of Experts on Pesticide Residues in Food and the Environment and the WHO Core Assessment Group on Pesticide Residues Berlin, Germany, 18–27 September 2018b.**

FERREIRA, M. L. P. C. A pulverização aérea de agrotóxicos no Brasil: cenário atual e desafios. *Revista de Direito Sanitário*, v. 15, n. 3, 2015.

FIOCRUZ. **Agrotóxicos e Saúde**. Coleção Saúde, Ambiente e Sustentabilidade v. 2. Série Fiocruz – Documentos Institucionais. 2018. 120 p.

FOUCAULT, M. **Microfísica do Poder**. Rio de Janeiro, ed. Graal. 1979.

HALBERG, N. *et al.* "The impact of organic farming on food security in a regional and global perspective." *Global development of organic agriculture: Challenges and prospects*. 2006.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agropecuário, Florestal e Aquícola 2017**. Disponível em: <https://censos.ibge.gov.br/agro/2017/sobre-censo-agro-2017.html>. Acesso em 12 nov. 2019.

INCA – INSTITUTO NACIONAL DO CÂNCER. **Agrotóxicos**. 2019. Disponível em: <https://www.inca.gov.br/alimentacao/agrotoxicos>. Acesso em 12 nov. 2019.

_____. **Coordenação de Prevenção e Vigilância. Vigilância do câncer relacionado ao trabalho e ao ambiente**. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro: INCA, 2010. p. 14.

IBAMA - INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Relatório de comercialização de agrotóxicos**. 2017. Disponível em: <http://ibama.gov.br/agrotoxicos/relatorios-de-comercializacao-de-agrotoxicos>. Acesso em 12 nov. 2019.

KATHOUNIAN, C. A. A reconstrução ecológica da agricultura. **Agroecológica, Botucatu**, 2001. 345p.

KEARNEY, J. Food consumption trends and drivers. **Philosophical Transactions of the Royal Society**, v. 365, p. 2793-2807, 2010.

KIM, K. H.; KABIR, E.; JAHAN, S. A. Exposure to pesticides and the associated human health effects. **Science of the Total Environment**, v. 575, p. 525-535, 2017.

LOPES, C. V. A.; ALBUQUERQUE, G. S. C. d. Agrotóxicos e seus impactos na saúde humana e ambiental: uma revisão sistemática. **Saúde em Debate**, v. 42, n. 117, p. 518-534, 2018.

MCCARROLL, N. E. *et al.* A survey of EPA/OPP and open literature on selected pesticide chemicals. III. Mutagenicity and carcinogenicity of benomyl and carbendazim. **Mutation Research**, v. 512, n. 1, p. 1-35, 2002.

MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Convenção de Estocolmo sobre os Poluentes Orgânicos Persistentes**. 2004. Disponível em: https://www.mma.gov.br/estruturas/smcq_seguranca/publicacao/143_publicacao16092009113044.pdf. Acesso em 12 nov. 2019.

MONTEIRO, C. A.; CANNON, G. The Impact of Transnational "Big Food" Companies on the South: A View from Brazil. **PLoS Med**, v. 9, n. 7, 2012.

MOSTAFALOU, S.; ABDOLLAHI, M. Pesticides: an update of human exposure and toxicity. **Archives of Toxicology**, v. 91, n. 2, p. 549-599, 2017.

NAVOLAR, T. S.; RIGON, S. A.; PHILIPPI, J. M. S. Diálogo entre agroecologia e promoção da saúde. **Revista Brasileira de Promoção da Saúde**, v. 23, n. 1, p.69-79, 2010.

OPAS/WHO – ORGANIZAÇÃO PANAMERICANA DA SAÚDE/WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Representação do Brasil. Manual de vigilância da saúde de populações expostas a agrotóxicos**. Brasília, 1996.

PERES, F., MOREIRA, JC., DUBOIS, GS. **Agrotóxicos, saúde e ambiente: uma introdução ao tema**. In: PERES, F., and MOREIRA, JC., orgs. *É veneno ou é remédio? Agrotóxicos, Saúde E Ambiente* [online]. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ, 2003. p. 21-41.

PHILLIPS MCDOUGALL. **Industry Overview – 2013 Market. 2013**. Disponível em: <https://agribusinessintelligence.informa.com>. Acesso em 12 nov. 2019.

PIGNATI, W.A. *et al.* Distribuição espacial do uso de agrotóxicos no Brasil: uma ferramenta para a Vigilância em Saúde. **Ciência e Saúde Coletiva**, v. 22, n. 10, p. 3281-3293, 2017.

PORTO, M. F. S.; SOUZA, M. F. Complexidade, processos de vulnerabilização e justiça ambiental: um ensaio de epistemologia política. **Revista Crítica de Ciências Sociais**, v. 93, p. 31-58, 2011.

POUZOU, J. G. *et al.* Use of benchmark dose models in risk assessment for occupational handlers of eight pesticides used in pome fruit production. **Regulatory Toxicology and Pharmacology**, v. 110, p. 104504, 2019.

PROENÇA, R. P. da C. Alimentação e globalização: algumas reflexões. **Ciência e Cultura**, Campinas, v. 62, n. 4, pp. 43–47, 2010.

QUANSAH, R. *et al.* Respiratory and non-respiratory symptoms associated with pesticide management practices among farmers in Ghana's most important vegetable hub. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 191, n. 12, p. 716, 2019.

RADLEY, A.; PURCHASE, J. Become the solution: Food Security 2050. **FarmBiz** 3.9 (2017): 14-15.

RASHIDIPOUR, M. *et al.* Pectin/chitosan/tripolyphosphate nanoparticles: efficient carriers for reducing soil sorption, cytotoxicity, and mutagenicity of paraquat and enhancing its herbicide activity. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 67, n. 20, p. 5736-5745, 2019.

RIBEIRO, H. J.; CONSTANTE, P.; DEISY, V. Alimentação e sustentabilidade. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 31, n. 89, 185-198, 2017.

ROBSON, M.; HAMILTON, G. C. **Control de Plagas y Pesticidas**. In: FRUMKIM, H. (Ed.) *Salud Ambiental de lo global a lo Local*. Washington D.C.: Organización Panamericana de la Salud, 2010. p.593-632.

SAPBAMRER, R. Pesticide Use, Poisoning, and Knowledge and Unsafe Occupational Practices in Thailand. **New Solutions**, v. 28, n. 2, p. 283-302, Aug 2018.

SCHREINEMACHERS, P.; TIPRAQSA, P. Agricultural pesticides and land use intensification in high, middle and low income countries. **Food Policy**, v. 37, n. 6, p. 616-626.

SILVA, E. J. **Avaliação dos efeitos genotóxicos de agrotóxicos: risco ocupacional e alimentar**. 2012. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Saúde Humana e Meio Ambiente, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012.

SOLECKI, R. *et al.* Guidance on setting of acute reference dose (ARfD) for pesticides. **Food and Chemical Toxicology**, v. 43, p. 1569–1593, 2005.

SOLOMON, K. R. *et al.* **Praguicidas e o meio ambiente**. 1 ed. São Paulo: ILSL, 2010.

STOPPELLI, I. M. de B. S.; MAGALHÃES, C. P. Saúde e segurança alimentar: a questão dos agrotóxicos. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 10, p. 91-100, 2005.

SYNGENTA. **Securing better food for the future**. Sustainable Business Report. 2018.

TAVARES, L. C. *et al.* **Produtividade, qualidade fisiológica e resíduo em sementes de trigo em função da dessecação com herbicidas**. 2018, p. 132-143.

THOMPSON, L. A.; DARWISH, W. S. Environmental chemical contaminants in food: review of a global problem. **Journal of Toxicology**, v. 2019, 2019.

TORRETTA, V. *et al.* Critical review of the effects of glyphosate exposure to the environment and humans through the food supply chain. **Sustainability**, v. 10, n. 4, p. 950, 2018.

TUAL, S. *et al.* Occupational exposure to pesticides and multiple myeloma in the AGRICAN cohort. **Cancer Causes Control**, v. 30, n. 11, p. 1243-1250, 2019.

WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases**. 2003. Disponível em:
<http://www.fao.org/docrep/005/ac911e/ac911e00.htm#Contents>. Acesso em 31 janeiro 2018.

_____. **Noncommunicable diseases**. 2017. Disponível em <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs355/en/> . Acesso em 31 janeiro 2018.

_____. **The WHO Recommended Classification of Pesticides by Hazard**. 2019. Disponível em: https://www.who.int/ipcs/publications/pesticides_hazard/en/. Acesso em 12 nov. 2019.

WILLETT, W. *et al.* Food in the Anthropocene: the EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. **The Lancet**, v. 393, n. 10170, p. 447-492, 2019.

WORLD BANK. **The World Bank and Nutrition**. 2016. Disponível em: <http://www.worldbank.org/en/topic/nutrition>. Acesso em 31 jan. 2018.

WORLD ECONOMIC FORUM. **Shaping the future of global food systems: a scenarios analysis**. 2017. Disponível em: <https://www.weforum.org/whitepapers/shaping-the-future-of-global-food-systems-a-scenarios-analysis>. Acesso em 31 jan. 2018.

SEGUNDA PARTE - ARTIGOS

ARTIGO 1

Versão preliminar para submissão e envio à revista científica Ciência e Saúde Coletiva
O conselho editorial do periódico poderá sugerir alterações para adequá-lo ao seu próprio
estilo

EFEITOS FISIOLÓGICOS DA EXPOSIÇÃO CRÔNICA AOS RESÍDUOS DE AGROTÓXICOS NA ALIMENTAÇÃO: UMA REVISÃO INTEGRATIVA DE ESTUDOS COM ANIMAIS

Rafaela Corrêa Pereira^{1,2}, Michel Cardoso de Angelis-Pereira¹

¹ Departamento de Nutrição, Universidade Federal de Lavras, Lavras - MG

² Departamento de Ciências Agrárias, Instituto Federal de Minas Gerais, Bambuí - MG

Autor para correspondência

Departamento de Nutrição, Universidade Federal de Lavras; Lavras - MG, Brasil; CEP
37200-000; Caixa postal: 3037; deangelis@ufla.br; +55 35 3829 1992

Resumo

A presente revisão integrativa tem como objetivo entender os efeitos do consumo crônico de resíduos de agrotóxicos pela alimentação para verificar se os limites máximos aceitáveis como seguros e os ensaios toxicológicos propostos pelos órgãos públicos e fabricantes são coerentes com as evidências científicas. Para tanto, foram considerados ensaios com animais publicados em bases de dados científicos, que avaliaram o efeito do consumo de baixas doses de agrotóxicos via alimentação sobre parâmetros fisiológicos. Dos 409 registros resultantes do processo de busca, 30 foram considerados elegíveis de acordo com os critérios de inclusão estabelecidos. Os resultados permitiram evidenciar que condições de consumo crônico, similar ao que a população está sujeita pelo consumo de alimentos contaminados com resíduos de agrotóxicos ao longo da vida, podem trazer efeitos deletérios à saúde. Diversos efeitos fisiológicos foram observados para os agrotóxicos analisados pelos diferentes estudos, principalmente entre aqueles que não havia conflito de interesse declarado. Esses efeitos foram ocorrentes em diferentes sistemas do organismo, sendo as principais evidências relacionadas à distúrbios dos sistemas nervoso, digestivo, cardiovascular e urinário. Essas evidências são importantes do ponto de vista da saúde pública, uma vez que podem estar associadas a condições patológicas cada vez mais incidentes na população, em especial as Doenças Crônicas Não Transmissíveis (DCNTs), que até então, são muito pouco associadas ao consumo de alimentos contaminados com resíduos de agrotóxicos ao longo da vida. Também traz alertas aos órgãos públicos na definição de políticas de regulamentação e controle que visam estabelecer limites residuais seguros, levando em consideração as reais condições de exposição da população.

Palavras-chave: agrotóxico; alimentação; efeito crônico; metabolismo; *Acceptable Dietary Intake*; *Acute Reference Dose*.

Introdução

Os agrotóxicos são produtos utilizados na agricultura para eliminar insetos ou ervas daninhas nas plantações e estão presentes na produção da maioria dos alimentos no Brasil e no mundo. Seu uso em massa se iniciou na década de 1950 nos Estados Unidos na chamada “Revolução Verde”, com o objetivo de modernizar a agricultura e aumentar a produtividade de alimentos (LOPES et al., 2018).

Porém, com o passar do tempo, os estudos científicos passaram a comprovar, além da contaminação dos alimentos, do solo, das águas e do ar, seus efeitos tóxicos aos seres vivos (EVANGELOU et al., 2016). Na literatura, há muitas evidências sobre as consequências desses produtos sobre a saúde da população, principalmente nos trabalhadores e comunidades rurais, e no meio ambiente quando expostos a doses agudas (BERG et al., 2019; TUAL et al., 2019; POUZOU et al., 2019; QUANSAH et al., 2019; SAPBAMRER et al., 2018).

Assim, a extensiva utilização de agrotóxicos representa um grave problema de saúde pública, principalmente nos países em desenvolvimento, e em economias baseadas no agronegócio, caso do Brasil (LOPES et al., 2018).

Independente disso, a população também está sujeita à exposição contínua de resíduos desses contaminantes, principalmente via alimentação. Além dos alimentos *in natura* e minimamente processados de origem vegetal e animal, como leite e carnes frescas, é importante destacar que os resíduos dos agrotóxicos também podem estar presentes nos alimentos ultraprocessados que têm como ingredientes o trigo, o milho, a cana-de-açúcar e a soja, por exemplo (INCA, 2019).

Nesse sentido, o Grupo de Trabalho JMPR/JECFA da FAO/WHO (2018) passou a considerar a exposição dietética de longo prazo (crônica) para a população com base no Sistema de Monitoramento Ambiental Global da WHO (*WHO Global Environment Monitoring System – Food Contamination Monitoring Programme – GEMS/Food*) (estimativa de ingestão diária) e comparar essas estimativas com os limites de ADI estabelecidos para caracterizar o risco de cada agrotóxico. No entanto, o grupo concluiu que há necessidade de melhor alinhar os modelos de exposição dietética a serem utilizados na avaliação de risco da população com o perfil toxicológico dos agrotóxicos.

De fato, existem muitos problemas inerentes à realização de experimentos em larga escala para avaliar diretamente a causa dos problemas de saúde humana associados ao uso de agrotóxicos. No entanto, as associações estatísticas entre a exposição a certos

agrotóxicos e a incidência de algumas doenças são válidas e não podem ser ignoradas, apesar das evidências obtidas até o momento sugerirem que grande parte dessa exposição é apresentada como múltiplas misturas de produtos químicos e que o efeito tóxico dessa exposição é desconhecido, particularmente em escalas de tempo mais longas (KIM et al., 2017).

Além disso, muitos dos parâmetros utilizados pelos órgãos reguladores consideram apenas como referência para estimativa de risco e aprovação ou não de um produto, seu potencial carcinogênico, teratogênico ou mutagênico que são relevantes do ponto de vista toxicológico, principalmente quando se considera a exposição aguda, que de fato, representa grande parte dos estudos disponíveis na literatura científica, mas que difere das condições que grande parte da população está sujeita ao longo da vida (GANGEMI et al., 2016; NAVARANJAN et al., 2013).

Assim, com base nas evidências científicas disponíveis na literatura até o momento, esse estudo teve como objetivos realizar um levantamento de ensaios com animais delineados para se avaliar o efeito do consumo de baixas doses de agrotóxicos pela alimentação em longo prazo; verificar a coerência dos resultados entre estudos com ou sem a declaração de conflito de interesse; e entender os efeitos fisiológicos do consumo crônico e sua associação com patologias, contribuindo assim para as discussões que buscam verificar se os limites máximos aceitáveis como seguros e os ensaios toxicológicos propostos atualmente pelos órgãos públicos e fabricantes são coerentes nessas condições.

Metodologia

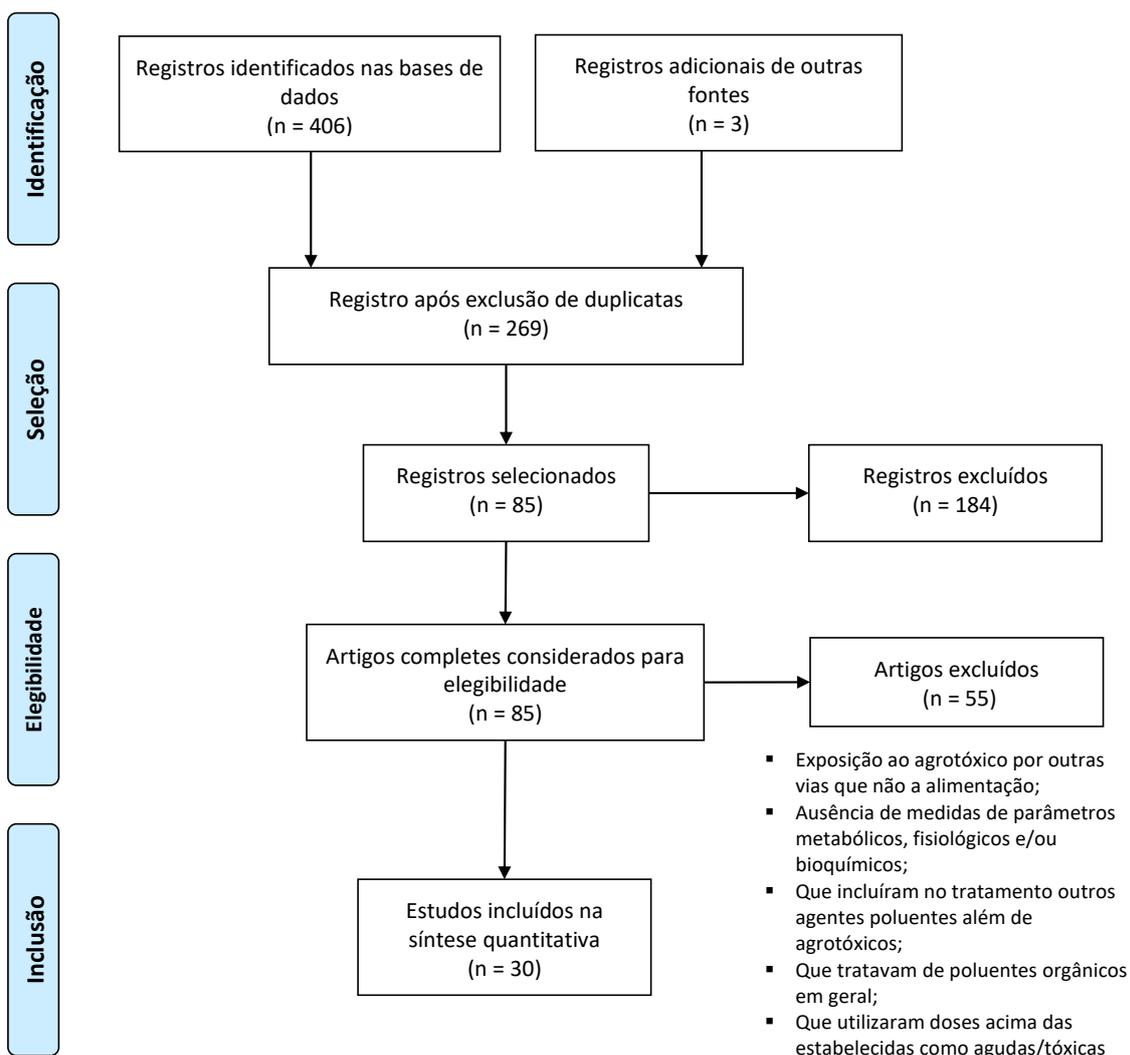
Trata-se de um estudo de revisão integrativa de literatura com o objetivo de sintetizar resultados de estudos com animais delineados para se avaliar o efeito do consumo de baixas doses de agrotóxicos pela alimentação em longo prazo.

Os registros foram identificados nas bases de dados ISI Web of Knowledge (<https://www.webofknowledge.com/>), SciELO (<https://scielo.org/>) e PubMed (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>) por meio de buscas em inglês utilizando o seguinte algoritmo: *(pesticide) OR (chemical pest control) OR (fungicide) OR (herbicide) OR (insecticide) OR (rodenticid) OR (carbamate) OR (pyrethroid) OR (chlorinated hydrocarbon) OR (agricultural chemical) AND (chronic dietary exposure) NOT (occupational exposure)*. Buscas manuais nas listas de referência de revisões e

publicações originais selecionadas também foram conduzidas. As buscas foram conduzidas entre os dias 14 e 16 de outubro de 2019.

Foram considerados registros publicados em qualquer idioma, contanto que houvesse resumo em inglês, em periódicos com publicações revisadas por pares, que reportavam dados originais de ensaios avaliando efeitos metabólicos, fisiológicos e bioquímicos de doses de agrotóxicos consideradas crônicas administrados pela alimentação e em longo prazo. Foram excluídos registros publicados em conferências ou com resultados não publicados na íntegra. A busca não restringiu o período de publicação e incluiu todos os registros disponíveis nas bases de dados até o presente (outubro de 2019). Ao todo, 409 registros foram obtidos. O fluxograma do protocolo de busca utilizado está representado na Figura 1.

Figura 1 - Resumo do protocolo de busca na literatura científica para identificação de estudos incluídos na revisão integrativa.



Os títulos e os resumos dos registros selecionados foram analisados para determinar a adequação quanto aos critérios de inclusão, o que levou à seleção de 85 registros. Desses, 55 foram excluídos por avaliarem a exposição ao agrotóxico por outras vias que não a alimentação; não apresentarem dados quantitativos de parâmetros metabólicos, fisiológicos e/ou bioquímicos; que incluíram no tratamento outros agentes poluentes, além de agrotóxicos; que investigaram o efeito de poluentes orgânicos de forma geral; e que utilizaram doses acima das estabelecidas como agudas/tóxicas.

Os dados extraídos das publicações incluídas para análise foram organizados em tabelas, conforme descrito na sessão de resultados. Esses dados foram analisados qualitativamente, sendo as especificidades de cada estudo e os desfechos obtidos discutidos conjuntamente, objetivando levantar evidências comuns associadas aos efeitos da exposição crônica de agrotóxicos e os desfechos clínicos práticos de relevância para a saúde humana.

Resultados e discussão

Dos 409 registros resultantes do processo de busca, 30 foram considerados elegíveis de acordo com os critérios de inclusão estabelecidos pela pesquisa. Os agrotóxicos (ingredientes ativos) reportados nesses estudos, grupos químicos aos quais pertencem, classificação toxicológica e limites de ingestão estabelecidos estão apresentados na Tabela 1.

Dos 30 registros elegíveis, 4 tratavam do estudo de agrotóxicos classificado pela ANVISA (2017) na Classe I (Produto Extremamente Tóxico), 12 na Classe II (Produto Altamente Tóxico), 5 na Classe 3 (Produto Moderadamente Tóxico) e 4 na Classe IV (Produto Pouco Tóxico). Apenas 1 estudo utilizou mistura de ingredientes ativos com diferentes classificações toxicológicas e 4 estudos tratavam de agrotóxicos já banidos pela ANVISA. Nenhum estudo tratou de ingredientes ativos da Classe V (Produto Improvável de Causar Dano Agudo).

Na classificação divulgada pela Agência em 2019, que segue os padrões do GHS, apenas 1 agrotóxico foi classificado na Categoria 2 (Produto Altamente Tóxico) e na Categoria 3 (Produto Moderadamente Tóxico); 5 foram classificados na Categoria 4 (Produto Pouco Tóxico) e na Categoria 5 (Produto Improvável de Causar Dano Agudo). Outros 4 agrotóxicos se enquadraram na Categoria NC (Não Classificado), não sendo necessária nenhuma advertência na comercialização desses produtos.

Tabela 1 - Descrição dos ingredientes ativos citados nos estudos in vivo, classificação toxicológica e limites de ingestão estabelecidos.

Ingrediente ativo	Grupo químico	Classificação	Nº estudos	ANVISA			JMPR (FAO; WHO)		
				Classe toxicológica (2017) ^a	Classe toxicológica (2019) ^b	Uso agrícola	ADI (mg/Kg) ^c	ARfD (mg/Kg) ^d	Ano
2,4-D	Ácido ariloxialcanoico	Herbicida	3	Classe I	Categoria 4	Autorizado	0,0100	-	2017
Acetamiprido	Neonecotinoide	Inseticida	1	Classe III	Categoria 4	Autorizado	0,0700	0,1000	2011
Aldrina	Organoclorado	Inseticida	1	-	-	Banido	0,0001	-	1994
Boscalida	Anilida	Fungicida	1	Classe III	Categoria 5	Autorizado	0,0400	-	2006
Captana	Dicarboximida	Fungicida	2	Classe IV	Categoria 5	Autorizado	0,1000	0,3000	1995
Clorpirifós	Organofosforado	Inseticida	11	Classe II	Categoria 3	Autorizado	0,0100	0,1000	1999;2004
DDT	Organoclorado	Inseticida	2	-	-	Banido	0,0100	-	2002
Deltametrina	Piretroide	Inseticida	1	Classe III	NC	Autorizado	0,0100	0,0500	2000
Diazinona	Organofosforado	Inseticida	2	Classe II	NC	Autorizado	0,0050	0,0300	2006
Diclorvós	Organofosforado	Inseticida	1	Classe II	NC	Autorizado	0,0040	0,1000	2011
Diquate	Bipiridílio	Herbicida	1	Classe II	Categoria 2	Autorizado	0,0060	0,8000	2018
Glifosato	Glicina substituída	Herbicida	3	Classe IV	Categoria 5	Autorizado	1,0000	-	2016
Malationa	Organofosforado	Inseticida	1	Classe III	Categoria 5	Autorizado	0,3000	2,0000	2016
MCPA	Ácido ariloxialcanoico	Herbicida	1	Classe III	NC	Autorizado	0,1000	0,6000	2012
Metiram	Alquilenobis (ditiocarbamato)	Fungicida	1	Classe III	Categoria 5	Autorizado	0,0300	-	1993
Metoxicloro	Organoclorado	Inseticida	1	-	-	Banido	0,1000	-	1977
Permetrina	Piretroide	Inseticida	1	Classe III	Categoria 4	Autorizado	0,0500	1,5000	1999;2002
Tiacloprido	Neonicotinoide	Inseticida	1	Classe II	Categoria 4	Autorizado	0,0100	0,0300	2006
Tiofanato-metílico	Benzimidazol	Fungicida	1	Classe III	Categoria 4	Autorizado	0,0900	1,0000	2017
Ziram	Compostos de coordenação	Fungicida	1	-	-	Banido	0,0030	-	1996

^a Classe I – Produto Extremamente Tóxico; Classe II – Produto Altamente Tóxico; Classe III – Produto Moderadamente Tóxico; Classe IV – Produto Pouco Tóxico

^b Categoria 1 – Produto Extremamente Tóxico; Categoria 2 – Produto Altamente Tóxico; Categoria 3 – Produto Moderadamente Tóxico; Categoria 4 – Produto Pouco Tóxico; Categoria 5 – Produto Improvável de Causar Dano Agudo; NC – Produto Não Classificado

^c *Acceptable Dietary Intake*: medida de referência mínima para indicar toxicidade a longo prazo advinda da exposição repetida ao composto presente no alimento

^d *Acute Reference Dose*: medida de referência mínima para indicar dose que, quando ingerida em intervalo menor de 24 horas pela água/alimentos, apresenta potencial efeito tóxico

Dos agrotóxicos mais citados, o clorpirifós, um dos organofosforados que primeiramente foram utilizados como armas químicas, é classificado farmacologicamente como anticolinesterásicos, ou seja, agentes que afetam o funcionamento do neurotransmissor acetilcolina, envolvido na memória e aprendizagem. Os produtos formulados a base desse ingrediente ativo são amplamente utilizados no mundo, principalmente no Brasil (CARNEIRO et al., 2012).

Já o glifosato (citado em 3 estudos) é, atualmente, o agrotóxico mais comercializado no mundo. Desenvolvido nos anos 1950 pela indústria farmacêutica, o princípio ativo passou a ser utilizado na formulação de um herbicida pela Monsanto, atual Bayer, a partir de 1970. A partir de então, as vendas foram crescentes, principalmente a partir dos anos de 1990, quando a empresa lançou linhas de sementes transgênicas resistentes ao glifosato, permitindo a ampliação agrícola e aumento da produtividade das lavouras. Por outro lado, a segurança do glifosato para a saúde humana vem sendo questionada internacionalmente (DUKE et al., 2018).

Assim como o glifosato, o 2,4-D (citado em 3 estudos) também é um dos principais agrotóxicos comercializados e utilizados no mundo. É um herbicida cujo mecanismo de ação é de mimetizar auxinas naturalmente sintetizadas pelo vegetal. Os produtos à base de 2,4-D, usados isoladamente ou em conjunto com o glifosato, também constituem a base das dessecações de manejo das áreas de plantio direto de grãos (ZUANAZZI et al., 2019).

A Tabela 2 apresenta a descrição dos estudos selecionados na revisão integrativa e desfechos fisiológicos obtidos.

O principal agrotóxico citado nos estudos foi o clorpirifós (n = 11), seguido pelo 2,4-D (n = 3), glifosato (n = 3), captana (n = 2), DDT (n = 2) e diazinona (n = 2).

Tabela 2 - Descrição dos estudos selecionados na revisão integrativa e desfechos metabólicos, fisiológicos e bioquímicos obtidos.

Composto ativo	Modelo animal	Tratamento ^a			Observação	Principais desfechos	Conflito de interesse	Referência
		Tempo (meses)	Dose mínima (mg/Kg/dia)	Dose máxima (mg/Kg/dia)				
Mix: Boscalida Captana Clorpirifós Tiofanato- metílico Tiacloprido Ziram	Camundongos C57Bl/6J	13	-	0,040 0,010 0,010 0,080 0,010 0,006		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Efeito obesogênico (ganho de peso e de tecido adiposo); ▪ Efeito diabetogênico (intolerância à glicose); esteatose hepática ▪ ≠ composição de metabólitos relacionados à microbiota na urina, após 12 semanas ▪ Dimorfismo sexual 	Nenhum	Lukowicz et al. (2018)
Diazinona	Ratos machos adultos	3	1,000	2,000		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Efeitos neurológicos: inibição da acetilcolinesterase, estímulo da transmissão sináptica glutamatérgica, dopaminérgica e serotoninérgica 	Nenhum	Savy et al. (2018)
Deltametrina	Camundongos Swiss albino	2	0,005	0,100		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Alterações bioquímicas (AST, ALT, TBIL, e creatinina) indicativas de lesão tecidual e peroxidação lipídica; ▪ Alterações histopatológicas (fígado, rins, pulmões, baço, testículos) 	Nenhum	Tewari et al. (2018)
Glifosato	Ratos Sprague–Dawley	24	-	4,000 x 10 ⁻⁶		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Alterações acentuadas do proteoma e metaboloma hepático associados à NASH e NAFLD; ▪ Alterações hepáticas anatomorfológicas e bioquímicas patológicas 	Nenhum	Mesnager et al. (2017)
Clorpirifós	Camundongos advindos de mães em período de gestação e lactação, ambos expostos à dieta contaminada	3 a 8	0,100	10,000		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Inibição da AChE e alterações da expressão gênica relacionada à doença de Parkinson; ▪ Alteração na sinalização celular, tornando as células cerebrais mais susceptíveis ao desenvolvimento de doenças neurológicas 	Nenhum	Pallota et al. (2017)
Clorpirifós	Ratos Wistar	6	-	5,000		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Déficits comportamentais persistentes e duradouros; ▪ Propensão a alterar a memória de longo prazo e induzir comportamento tigmotático 	Nenhum	Lopez-Granero et al. (2016)
Glifosato	Ratos Sprague–Dawley	24	-	4,000 x 10 ⁻⁶		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Alterações em larga escala do transcriptoma hepático e renal que se correlacionam com sinais observados de alterações patológicas anatomorfológicas e bioquímicas nesses órgãos 	Nenhum	Mesnager et al. (2015)
Acetamiprido	Ratos Wistar	3	5,500	22,000		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Redução significativa na proliferação de linfócitos e função de macrófagos 	Nenhum	Shakthi Devan et al. (2015)

Composto ativo	Modelo animal	Tratamento ^a			Observação	Principais desfechos	Conflito de interesse	Referência
		Tempo (meses)	Dose mínima (mg/Kg/dia)	Dose máxima (mg/Kg/dia)				
Clorpirifós	Ratos genótipos apoE2, apoE3 or apoE4	4,1	-	2,000		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Inibição moderada da colinesterase; ▪ apoE2: comportamento hiperativo; ▪ apoE3: indução da obesidade e de desordens metabólicas; ▪ apoE4: aprendizado deficiente 	Nenhum	Peris-Sampedro et al. (2014)
DDT	Camundongos C57BL/6H	4,1	-	2,000	associado à dieta hiperlipídica	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Indução de alterações na glicose sistêmica (hiperglicemia em jejum e HOMA-IR) e no metabolismo lipídico hepático (esteatose hepática) (dependente da dieta hiperlipídica) 	Nenhum	Howell et al. (2015)
Permetrina	Ratos Wistar	1	-	20,000		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Alterações na coordenação motora 	Nenhum	Godinho et al. (2014)
Malationa	Camundongos CBA	12	-	5,500 x 10 ⁻⁴		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Status antioxidante inalterado (medido pela atividade de GSH); ▪ Aumento da atividade de AChE 	Nenhum	Hackenberger et al. (2010)
Glifosato	Ratos Wistar	4,1	56,000	560,000		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Efeitos pronunciados na atividade das enzimas ALT, AST e LDH; ▪ Diferença no perfil lipídico sanguíneo (LDL-c, HDL-c, colesterol total); ▪ Infiltração de células mononucleares e congestão dos tecidos hepáticos 	Nenhum	Caglar et al. (2008)
Diclorvós	Ratos Wistar	2	-	6,000		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aumento na síntese de acetilcolina; ▪ Inibição da síntese de cAMP; ▪ Hiperatividade colinérgica 	Nenhum	Raheja et al. (2007)
Clorpirifós	Ratos Long-Evans	12	-	5,000	intercaladas por doses agudas de 45,000 – 60,000 mg/Kg a cada 2 meses	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nenhum impacto sobre a atenção sustentada; ▪ Aprendizado da contingência entre ação e recompensa acelerado (exceto quando houve exposição aguda); ▪ Comprometimento cognitivo persistente 	Nenhum	Samsam et al. (2005)
Clorpirifós	Ratos Long-Evans	12	-	5,000	intercaladas por doses agudas de 45,000 – 60,000 mg/Kg a cada 2 meses	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Alterações bioquímicas não persistentes (inibição ChE, decréscimo da densidade dos receptores muscarínicos, aumento nos transportadores de dopamina) 	Nenhum	Padilla et al. (2005)
Clorpirifós	Ratos Long-Evans	12	-	5,000	intercaladas por doses agudas de 45,000 – 60,000 mg/Kg a cada 2 meses	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Déficits cognitivos: latência ligeiramente mais longa durante treinamento espacial e diminuição da preferência pelo quadrante correto nos ensaios com sonda; ▪ Alterações neurocomportamentais persistentes 	Nenhum	Moser et al. (2005)

Composto ativo	Modelo animal	Tratamento ^a			Observação	Principais desfechos	Conflito de interesse	Referência
		Tempo (meses)	Dose mínima (mg/Kg/dia)	Dose máxima (mg/Kg/dia)				
Clorpirifós	Ratos Long-Evans	12	1,000	5,000	intercaladas por doses agudas de 45,000 – 60,000 mg/Kg a cada 2 meses	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Inibição da ChE; nenhum efeito sobre a capacidade de adaptação ao escuro; ▪ Decréscimo na sensibilidade de funções visuais específicas; ▪ Nenhuma alteração estrutural/morfológica de fotoreceptores, células bipolares e da retina 	Nenhum	Geller et al. (2005)
Metoxicloro	Ratas Sprague–Dawley durante gravidez e lactação e seus filhotes	1,3	0,800	80,000		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Toxicidade comportamental leve nos filhotes; ▪ Indução de maior consumo de solução sódica entre machos e fêmeas (comportamento característico de fêmeas); ▪ Menor peso corporal dos filhotes 	Nenhum	Flynn et al. (2005)
Diazinona	Camundongos Swiss albino	1,2	ND	ND	300,000 mg/ Kg ração + dieta hiperproteica ou hiperlipídica	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Degeneração necrótica de trabéculas; ▪ Hiperplasia do córtex, medula e baço, hemorragias; ▪ Estresse oxidativo; ▪ Efeitos mais pronunciados em dietas com excesso de proteínas e lipídeos 	Nenhum	Handy et al. (2002)
Clorpirifós	Ratos Long-Evans	6	1,000	5,000		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Elevação da temperatura corporal; ▪ Maior resposta hipotérmica 	Nenhum	Gordon et al. (2002)
Diquate	Ratos Wistar	0,8	-	0,100		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aumento da sensibilidade gástrica; ▪ Ativação de receptores de taquicinas; ▪ Degranulação de mastócitos da mucosa após distensão gástrica 	Nenhum	Anton et al. (2001)
Clorpirifós	Ratos Fischer 344	24	0,005	10,000		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Animais permaneceram saudáveis, sem mortes prematuras; ▪ Ausência de carcinogênese; ▪ Número de neoplasmos inalterado pelos tratamentos; ▪ Inibição de ChE sanguínea e cerebral; ▪ Escape de urina; ▪ Redução do peso corporal; ▪ Vacuolação da glândula adrenal 	The Dow Chemical Company	Yano et al. (2000)
Metiram	Ratos Sprague–Dawley; camundongos CFLP	21,5 (F) 23,8 (M)	3,230 (F) 2,480 (M)	110,600 (F) 78,000 (M)		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Baixa toxicidade, ausência de carcinogênese 	BASF	Charles et al. (2000)

Composto ativo	Modelo animal	Tratamento ^a			Observação	Principais desfechos	Conflito de interesse	Referência
		Tempo (meses)	Dose mínima (mg/Kg/dia)	Dose máxima (mg/Kg/dia)				
MCPA	Ratos Wistar; camundongos B6C3F1	24	ND	ND	20,000 – 320,000 mg / Kg ração	<ul style="list-style-type: none"> Nenhum efeito potencialmente carcinogênico; Alterações histopatológicas nos rins 	BASF; The Dow Chemical Company; Nufarm UK Limited	Bellet et al. (1999)
2,4-D	Ratos CD1(SD)BR;	24	3,230 (F)	110,600 (F)		<ul style="list-style-type: none"> Ausência de toxicidade e de efeitos oncogênicos 	Charles & Conn, LLC; A. H. Marks and Company Ltda	Charles et al. (1998)
	Camundongos Swiss albino		2,480 (M)	78,000 (M)				
2,4-D	Ratos Fischer 344	12	5,000	150,000		<ul style="list-style-type: none"> Ausência de neurotoxicidade aguda; degeneração retinal em fêmeas; Decréscimo do peso corporal 	The Dow Chemical Company; Charles & Conn, LLC; Rhone-Poulenc Ag Company Research Triangle Park; John Wise and Associates Ltda	Mattsson et al. (1997)
Aldrina	Ratos Fischer 344	2	0,100	10,000		<ul style="list-style-type: none"> Lesão hepática; Indução de carcinogênese 	Nenhum	Kolaja et al. (1996)
2,4-D	Ratos Fischer 344	24	5,000 (F)	300,000 (F)		<ul style="list-style-type: none"> Baixa toxicidade; Ausência de carcinogênese 	Charles & Conn, LLC	Charles et al. (1996)
DDT	Ratas Sprague–Dawley	9	ND	ND	75,000 – 150,000 mg / Kg ração + PCB	<ul style="list-style-type: none"> Redução da fertilidade; Redução nos níveis de progesterona; Alterações histológicas no ovário 	Nenhum	Jonsson et al. (1975)

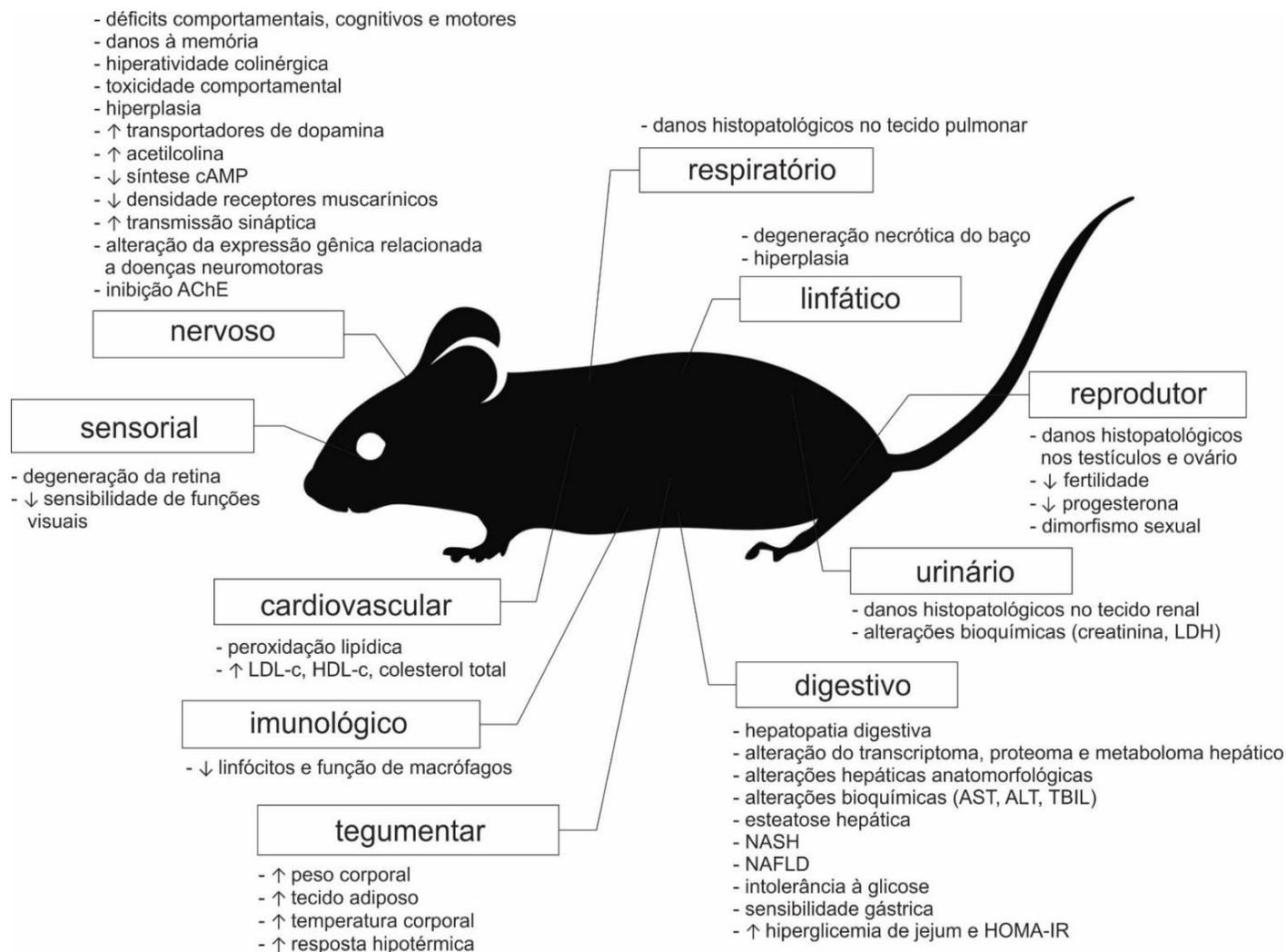
^a ND: não determinado

As doses (mínimas e máximas) foram variáveis entre os estudos, mesmo quando se tratava de ingredientes ativos semelhantes. A determinação das quantidades consideradas baixas, adequadas para se avaliar o efeito crônico, se baseou em diferentes justificativas: doses residuais prováveis de serem encontradas em alimentos, de acordo com dados de monitoramento (n = 3); doses inferiores às utilizadas em estudos prévios que indicam sinais de toxicidade de doses agudas (n = 16); doses inferiores aos limites estabelecidos por órgãos reguladores como seguros (n = 4); doses inferiores às suficientes para provocar alterações fisiológicas específicas (como inibição de AChE, por exemplo) (n = 3); doses baseadas em estudos prévios do efeito crônico e/ou de longo prazo que indicaram alterações metabólicas/fisiológicas específicas (n = 4). Essas doses foram combinadas com o longo tempo de exposição, que variou entre 0,8 a 24 meses.

Em se tratando da extrapolação de doses de ensaios animais para doses análogas em humanos, um fator de 100 é normalmente aplicado, que é derivado de incertezas devido a diferenças inter e intra-espécies (SAVY et al., 2018). Assim, estudos cuja dose animal descrita foi de 1,000 mg/Kg/dia, pode ser comparada a doses de 0,001 mg/Kg/dia em humanos. A título de ilustração, dados de predição de exposição à diazinona indicam que consumidores podem estar expostos à 0,002 mg/Kg/dia do agrotóxico via consumo de alimentos contaminados (EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY, 2006), doses essas consideradas análogas às utilizadas nos estudos analisados após conversão para o modelo animal.

Quanto aos desfechos, apenas três estudos não obtiveram desfechos metabólicos, fisiológicos e/ou bioquímicos relacionados a efeitos deletérios à saúde. Os demais estudos indicaram efeitos adversos variáveis, sobre diferentes sistemas do organismo, como ilustrado e resumido na Figura 2.

Figura 2 - Efeitos metabólicos associados à exposição crônica de resíduos de agrotóxicos pela dieta.



Fonte: Dos autores (2020).

Os efeitos mais reportados foram sobre os sistemas nervoso (n = 13) e digestivo (n = 9), seguido pelos sistemas cardiovascular (n = 4) e urinário (n = 4). Outros 6 estudos se restringiram a análise do potencial oncogênico do agrotóxico. Os efeitos sobre os demais sistemas (tegumentar, sensorial, imunológico, respiratório, linfático e reprodutor) foram avaliados por dois ou menos estudos. Houve estudos em que foi analisado parâmetros de diferentes sistemas.

Sobre o sistema nervoso, os estudos demonstraram a capacidade de baixas doses de diferentes agrotóxicos em exercer alterações de sinalização da membrana que tornam as células cerebrais mais suscetíveis ao desenvolvimento de doenças neurodegenerativas (PALLOTA et al., 2017), bem como desordens psicológicas, déficits comportamentais (SAVY et al., 2018; LOPEZ-GRANERO et al., 2016; RAHEJA; GIL, 2007) e cognitivos (PERIS-SAMPREDO et al., 2015; SAMSAM et al., 2005), entre outros.

No sistema digestivo, os distúrbios hepáticos foram os mais ocorrentes. Dentre eles a esteatose, que provavelmente seja uma resposta genérica adaptativa do tecido à exposição crônica aos poluentes orgânicos persistentes, como os agrotóxicos (LUKOWICZ et al., 2018) e relacionada a alterações do transcriptoma, proteoma e metaboloma hepático. Mesnage et al. (2017) demonstraram essa relação, indicando que a esteatose hepática não alcoólica (NASH) e a doença hepática gordurosa não alcoólica (NAFLD) envolvem perturbações metabólicas e acumulação de intermediários lipotóxicos, como acilcarnitinas, que podem ser potencializadas pela presença de agrotóxicos, como o glifosato, mesmo em doses muito baixas.

Outros estudos mostraram efeitos mais específicos como adipogênese, intolerância à glicose e resistência à insulina (LUKOWICZ et al., 2018); elevação da temperatura corporal e maior resposta hipotérmica (GORDON et al., 2002); sensibilidade gástrica (ANTON et al., 2001) e visual (GELLER et al., 2005); alterações anatomorfológicas de tecidos como ovário, rins, fígado (TEWARI et al., 2018; MESNAGE et al., 2017; MESNAGE et al., 2015; BELLET et al., 1999; JONSSON et al., 1975).

Essas evidências são importantes do ponto de vista da saúde pública, uma vez que podem explicar algumas condições patológicas cada vez mais incidentes na população, em especial as DCNTs e que, até então, são muito pouco associadas ao consumo de alimentos contaminados com resíduos de agrotóxicos ao longo da vida. Também permitem questionar se o que se estabelece hoje como limites residuais permitidos em alimentos são realmente seguros e condizentes com as reais condições de exposição da população.

Outra discussão pertinente se refere ao conflito de interesse reportado em 6 das 30 publicações analisadas na presente revisão integrativa (CHARLES et al., 2000; YANO et al., 2000; BELLET et al., 2000; CHALES et al., 1998; MATTSON et al., 1997; CHALES et al., 1996), por se tratarem de estudos financiados por fabricantes de insumos agrícolas ou por institutos parceiros. Os 3 estudos citados anteriormente que não obtiveram desfechos metabólicos negativos se enquadravam nessa situação.

Nesses estudos foram reportados poucos ou nenhum efeito fisiológico potencialmente associado a patologias ou toxicidade devido ao consumo de dietas contaminadas com resíduos de agrotóxicos. Metade desses estudos avaliaram o 2,4-D, um dos principais agrotóxicos comercializados e utilizados no mundo. No entanto, ao contrário do que os demais estudos citados anteriormente se propuseram, neles, apesar das baixas doses, os parâmetros analisados foram compatíveis aos ensaios de toxicidade aguda, com enfoque na análise do potencial carcinogênico e/ou mutagênico.

Quanto ao período das publicações, foram incluídos estudos publicados entre 1975 e 2018. Houve a tendência em analisar parâmetros metabólicos mais específicos (ensaios gênicos e moleculares, por exemplo, e relacionados à mecanismos envolvidos na incidência de DCNTs) nos estudos mais recentes, i.e., dos últimos 5 anos, enquanto nos estudos mais antigos havia predominância do estudo de parâmetros histológicos, anatômicos e bioquímicos mais agudos, indicativos de carcinogênese, teratogênese ou mutagênese.

Conclusão

A presente revisão integrativa permitiu trazer evidências de que o consumo crônico de agrotóxicos, similar ao que a população está sujeita pelo consumo de alimentos contaminados com resíduos de agrotóxicos ao longo da vida, pode trazer efeitos deletérios à saúde, conforme constatado pela maioria dos estudos incluídos, que não havia conflito de interesse reportado. Esses efeitos foram ocorrentes em diferentes sistemas do organismo, sendo as principais evidências relacionadas à distúrbios dos sistemas nervoso, digestivo, cardiovascular e urinário.

Essas evidências são importantes do ponto de vista da saúde pública, uma vez que podem estar associadas a condições patológicas cada vez mais incidentes na população, em especial as DCNTs, que até então, são muito pouco associadas ao consumo de alimentos contaminados com resíduos de agrotóxicos ao longo da vida. Também traz alertas aos órgãos

públicos na definição de políticas de regulamentação e controle que visam estabelecer limites residuais seguros, levando em consideração as reais condições de exposição da população.

Referências

ANTON, P. M.; THEODOROU, V.; FIORAMONTI, J.; BUENO, L. Chronic low-level administration of diquat increases the nociceptive response to gastric distension in rats: role of mast cells and tachykinin receptor activation. **Pain**, 92, n. 1-2, p. 219-227, May 2001.

ANVISA – AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Programa de Análise de Resíduos de Agrotóxicos em Alimentos (PARA)**. 2016. Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br/programa-de-analise-de-registro-de-agrotoxicos-para>. Acesso em: 12 nov. 2019.

BELLET, E. M.; VAN RAVENZWAAY, B.; PIGOTT, G.; LEEMING, N. Chronic dietary toxicity and oncogenicity evaluation of MCPA (4-chloro-2-methylphenoxyacetic acid) in rodents. **Regul Toxicol Pharmacol**, 30, n. 3, p. 223-232, Dec 1999.

BERG, Z. K.; RODRIGUEZ, B.; DAVIS, J.; KATZ, A. R. *et al.* Association Between Occupational Exposure to Pesticides and Cardiovascular Disease Incidence: The Kuakini Honolulu Heart Program. **J Am Heart Assoc**, 8, n. 19, p. e012569, Oct 2019.

BRASIL. **Lei nº 7.802, de 11 de julho de 1989**. Dispõe sobre a pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem e rotulagem, o transporte, o armazenamento, a comercialização, a propaganda comercial, a utilização, a importação, a exportação, o destino final dos resíduos e embalagens, o registro, a classificação, o controle, a inspeção e a fiscalização de agrotóxicos, seus componentes e afins, e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 12 jul. 1989.

CAGLAR, S.; KOLANKAYA, D. The effect of sub-acute and sub-chronic exposure of rats to the glyphosate-based herbicide Roundup. **Environ Toxicol Pharmacol**, 25, n. 1, p. 57-62, Jan 2008.

CARNEIRO, FF; BÚRIGO, AB; DIAS, AP. **Saúde no campo**. In: CALDART, RS et al. (orgs.). Dicionário da educação do campo. Rio de Janeiro: Escola Politécnica de Saúde Joaquim Venâncio; São Paulo: Expressão Popular, 2012.

CHARLES, J. M.; BOND, D. M.; JEFFRIES, T. K.; YANO, B. L. *et al.* Chronic dietary toxicity/oncogenicity studies on 2,4-dichlorophenoxyacetic acid in rodents. **Fundam Appl Toxicol**, 33, n. 2, p. 166-172, Oct 1996.

CHARLES, J. M.; LEEMING, N. M. Chronic dietary toxicity/oncogenicity studies on 2,4-dichlorophenoxybutyric acid in rodents. **Toxicol Sci**, 46, n. 1, p. 21-30, Nov 1998.

CHARLES, J. M.; TOBIA, A.; VAN RAVENZWAAY, B. Subchronic and chronic toxicological investigations on metiram: the lack of a carcinogenic response in rodents. **Toxicol Sci**, 54, n. 2, p. 481-492, Apr 2000.

- DESHMUKH, U.; RAMTEKE, P. Histological changes caused due to intoxication of 2,4-D herbicide in Wistar albino rats. **Toxicological Communication**, 8, n. 1, p. 43-46, 2015.
- DUKE, S. O. The history and current status of glyphosate. **Pest Manag Sci**, 74, n. 5, p. 1027-1034, May 2018.
- EFSA. The 2017 European Union report on pesticide residues in food. **EFSA Journal**, 17, n. 6, 2019.
- EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY, 2006. Conclusion regarding the peer review of the pesticide risk assessment of the active substance diazinon. **EFSA Journal**. 85, 1-73. 10.2903/j.efsa.2006.85r.
- EVANGELOU, E.; NTRITSOS, G.; CHONDROGIORGI, M.; KAVVOURA, F. K. *et al.* Exposure to pesticides and diabetes: A systematic review and meta-analysis. **Environ Int**, 91, p. 60-68, May 2016.
- FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **Report of the Joint Meeting of the FAO Panel of Experts on Pesticide Residues in Food and the Environment and the WHO Core Assessment Group on Pesticide Residues Berlin**, Germany, 18–27 September 2018b.
- FLYNN, K. M.; DELCLOS, K. B.; NEWBOLD, R. R.; FERGUSON, S. A. Long term dietary methoxychlor exposure in rats increases sodium solution consumption but has few effects on other sexually dimorphic behaviors. **Food Chem Toxicol**, 43, n. 9, p. 1345-1354, Sep 2005.
- GANGEMI, S.; MIOZZI, E.; TEODORO, M.; BRIGUGLIO, G. *et al.* Occupational exposure to pesticides as a possible risk factor for the development of chronic diseases in humans (Review). **Molecular medicine reports**, 14, n. 5, p. 4475-4488, 2016.
- GELLER, A. M.; SUTTON, L. D.; MARSHALL, R. S.; HUNTER, D. L. *et al.* Repeated spike exposure to the insecticide chlorpyrifos interferes with the recovery of visual sensitivity in rats. **Doc Ophthalmol**, 110, n. 1, p. 79-90, Jan 2005.
- GODINHO, A. F.; STANZANI, S. L.; FERREIRA, F. C.; BRAGA, T. C. *et al.* "Permethrin chronic exposure alters motor coordination in rats: effect of calcium supplementation and amlodipine". **Environ Toxicol Pharmacol**, 37, n. 2, p. 878-884, Mar 2014.
- GORDON, C. J.; PADNOS, B. K. Dietary exposure to chlorpyrifos alters core temperature in the rat. **Toxicology**, 177, n. 2-3, p. 215-226, Aug 15 2002.
- HACKENBERGER, B. K.; JARIC, D.; HACKENBERGER, D.; STEPIC, S. Effects of chronic dietary exposure to a low-dose of Malathion, Aroclor-1254 and 3-methylcholanthrene on three biomarkers in male mice. **Acta Biol Hung**, 61, n. 4, p. 423-433, Dec 2010.
- HANDY, R. D.; ABD-EL SAMEI, H. A.; BAYOMY, M. F.; MAHRAN, A. M. *et al.* Chronic diazinon exposure: pathologies of spleen, thymus, blood cells, and lymph nodes are modulated by dietary protein or lipid in the mouse. **Toxicology**, 172, n. 1, p. 13-34, Mar 5 2002.

HOWELL, G. E., 3rd; MULLIGAN, C.; MEEK, E.; CHAMBERS, J. E. Effect of chronic p,p'-dichlorodiphenyldichloroethylene (DDE) exposure on high fat diet-induced alterations in glucose and lipid metabolism in male C57BL/6H mice. **Toxicology**, 328, p. 112-122, Feb 3 2015.

INCA – INSTITUTO NACIONAL DO CÂNCER. **Agrotóxicos**. 2019. Disponível em: <https://www.inca.gov.br/alimentacao/agrotoxicos>. Acesso em 12 nov. 2019.

JONSSON, H. T., Jr.; KEIL, J. E.; GADDY, R. G.; LOADHOLT, C. B. *et al.* Prolonged ingestion of commercial DDT and PCB; effects on progesterone levels and reproduction in the mature female rat. **Arch Environ Contam Toxicol**, 3, n. 4, p. 479-490, 1975.

KIM, K. H.; KABIR, E.; JAHAN, S. A. Exposure to pesticides and the associated human health effects. **Science of the Total Environment**, 575, p. 525-535, Jan 2017.

KOLAJA, K. L.; STEVENSON, D. E.; WALBORG, E. F., Jr.; KLAUNIG, J. E. Selective dieldrin promotion of hepatic focal lesions in mice. **Carcinogenesis**, 17, n. 6, p. 1243-1250, Jun 1996.

LOPES, C. V. A.; ALBUQUERQUE, G. S. C. d. Agrotóxicos e seus impactos na saúde humana e ambiental: uma revisão sistemática. **Saúde em Debate**, 42, n. 117, p. 518-534, 2018.

LOPEZ-GRANERO, C.; RUIZ-MUNOZ, A. M.; NIETO-ESCAMEZ, F. A.; COLOMINA, M. T. *et al.* Chronic dietary chlorpyrifos causes long-term spatial memory impairment and thigmotaxic behavior. **Neurotoxicology**, 53, p. 85-92, Mar 2016.

LUKOWICZ, C.; ELLERO-SIMATOS, S.; REGNIER, M.; POLIZZI, A. *et al.* Metabolic Effects of a Chronic Dietary Exposure to a Low-Dose Pesticide Cocktail in Mice: Sexual Dimorphism and Role of the Constitutive Androstane Receptor. **Environ Health Perspect**, 126, n. 6, p. 067007, Jun 2018.

MATTSSON, J. L.; CHARLES, J. M.; YANO, B. L.; CUNNY, H. C. *et al.* Single-dose and chronic dietary neurotoxicity screening studies on 2,4-dichlorophenoxyacetic acid in rats. **Fundam Appl Toxicol**, 40, n. 1, p. 111-119, Nov 1997.

MESNAGE, R.; ARNO, M.; COSTANZO, M.; MALATESTA, M. *et al.* Transcriptome profile analysis reflects rat liver and kidney damage following chronic ultra-low dose Roundup exposure. **Environ Health**, 14, p. 70, Aug 25 2015.

MESNAGE, R.; RENNEY, G.; SERALINI, G. E.; WARD, M. *et al.* Multiomics reveal non-alcoholic fatty liver disease in rats following chronic exposure to an ultra-low dose of Roundup herbicide. **Science Reports** 7, p. 39328, Jan 9 2017.

MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Convenção de Estocolmo sobre os Poluentes Orgânicos Persistentes**. 2004. Disponível em: https://www.mma.gov.br/estruturas/smcq_seguranca/publicacao/143_publicacao16092009113044.pdf. Acesso em 12 nov. 2019.

- MOHER, D.; SHAMSEER, L.; CLARKE, M.; GHERSI, D. *et al.* Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015 statement. **Systematic reviews**, 4, n. 1, p. 1, 2015.
- MOSER, V. C.; PHILLIPS, P. M.; MCDANIEL, K. L.; MARSHALL, R. S. *et al.* Neurobehavioral effects of chronic dietary and repeated high-level spike exposure to chlorpyrifos in rats. **Toxicol Sci**, 86, n. 2, p. 375-386, Aug 2005.
- NAVARANJAN, G.; HOHENADEL, K.; BLAIR, A.; DEMERS, P. A. *et al.* Exposures to multiple pesticides and the risk of Hodgkin lymphoma in Canadian men. **Cancer causes & control : CCC**, 24, n. 9, p. 1661-1673, 2013.
- PADILLA, S.; MARSHALL, R. S.; HUNTER, D. L.; OXENDINE, S. *et al.* Neurochemical effects of chronic dietary and repeated high-level acute exposure to chlorpyrifos in rats. **Toxicol Sci**, 88, n. 1, p. 161-171, Nov 2005.
- PALLOTTA, M. M.; RONCA, R.; CAROTENUTO, R.; PORRECA, I. *et al.* Specific Effects of Chronic Dietary Exposure to Chlorpyrifos on Brain Gene Expression-A Mouse Study. **Int J Mol Sci**, 18, n. 11, Nov 20 2017.
- PERIS-SAMPEDRO, F.; BASAURE, P.; REVERTE, I.; CABRE, M. *et al.* Chronic exposure to chlorpyrifos triggered body weight increase and memory impairment depending on human apoE polymorphisms in a targeted replacement mouse model. **Physiol Behav**, 144, p. 37-45, May 15 2015.
- POUZOU, J. G.; KISSEL, J.; YOST, M. G.; FENSKE, R. A. *et al.* Use of benchmark dose models in risk assessment for occupational handlers of eight pesticides used in pome fruit production. **Regul Toxicol Pharmacol**, 110, p. 104504, Oct 23 2019.
- QUANSAH, R.; BEND, J. R.; ARMAH, F. A.; BONNEY, F. *et al.* Respiratory and non-respiratory symptoms associated with pesticide management practices among farmers in Ghana's most important vegetable hub. **Environ Monit Assess**, 191, n. 12, p. 716, Nov 4 2019.
- RAHEJA, G.; GILL, K. D. Altered cholinergic metabolism and muscarinic receptor linked second messenger pathways after chronic exposure to dichlorvos in rat brain. **Toxicol Ind Health**, 23, n. 1, p. 25-37, Feb 2007.
- SAMSAM, T. E.; HUNTER, D. L.; BUSHNELL, P. J. Effects of chronic dietary and repeated acute exposure to chlorpyrifos on learning and sustained attention in rats. **Toxicol Sci**, 87, n. 2, p. 460-468, Oct 2005.
- SAPBAMRER, R. Pesticide Use, Poisoning, and Knowledge and Unsafe Occupational Practices in Thailand. **New Solut**, 28, n. 2, p. 283-302, Aug 2018.
- SAVY, C. Y.; FITCHETT, A. E.; BLAIN, P. G.; MORRIS, C. M. *et al.* Gene expression analysis reveals chronic low level exposure to the pesticide diazinon affects psychological disorders gene sets in the adult rat. **Toxicology**, 393, p. 90-101, Jan 15 2018.

SHAKTHI DEVAN, R. K.; PRABU, P. C.; PANCHAPAKESAN, S. Immunotoxicity assessment of sub-chronic oral administration of acetamiprid in Wistar rats. **Drug Chem Toxicol**, 38, n. 3, p. 328-336, 2015.

TEWARI, A.; BANGA, H. S.; GILL, J. Sublethal chronic effects of oral dietary exposure to deltamethrin in Swiss albino mice. **Toxicol Ind Health**, 34, n. 6, p. 423-432, Jun 2018.

TUAL, S.; BUSSON, A.; BOULANGER, M.; RENIER, M. *et al.* Occupational exposure to pesticides and multiple myeloma in the AGRICAN cohort. **Cancer Causes Control**, 30, n. 11, p. 1243-1250, Nov 2019.

YANO, B. L.; YOUNG, J. T.; MATTSSON, J. L. Lack of carcinogenicity of chlorpyrifos insecticide in a high-dose, 2-year dietary toxicity study in Fischer 344 rats. **Toxicol Sci**, 53, n. 1, p. 135-144, Jan 2000.

ZUANAZZI, N. R.; GHISI, N. C.; OLIVEIRA, E. C. Analysis of global trends and gaps for studies about 2,4-D herbicide toxicity: A scientometric review. **Chemosphere**, 241, p. 125016, Oct 3 2019.

ARTIGO 2

Versão preliminar para tradução, submissão e envio à revista científica Journal of Food Science and Technology

O conselho editorial do periódico poderá sugerir alterações para adequá-lo ao seu próprio estilo

EFEITO DOS SISTEMAS DE CULTIVO ORGÂNICO X CONVENCIONAL SOBRE COMPOSTOS BIOATIVOS EM ALIMENTOS: UMA REVISÃO INTEGRATIVA

Rafaela Corrêa Pereira^{1,2}, Michel Cardoso de Angelis-Pereira¹

¹ Departamento de Nutrição, Universidade Federal de Lavras, Lavras - MG

² Departamento de Ciências Agrárias, Instituto Federal de Minas Gerais, Bambuí - MG

Autor para correspondência

Departamento de Nutrição, Universidade Federal de Lavras; Lavras - MG, Brasil; CEP 37200-000; Caixa postal: 3037; deangelis@ufla.br; +55 35 3829 1992

Resumo

A produção e o consumo de alimentos orgânicos aumentaram significativamente em todo o mundo nas últimas décadas, sendo eles vistos como alternativas mais saudáveis, principalmente por apresentarem menores teores de contaminantes, fertilizantes sintéticos e agrotóxicos em comparação com alimentos obtidos por sistemas agrícolas convencionais. Embora as evidências científicas ainda sejam escassas e divergentes, no cultivo orgânico pode haver maior síntese de compostos orgânicos bioativos e de nutrientes. Buscando reunir evidências que demonstrem de forma quantitativa como os sistemas de cultivos agrícolas (orgânico e convencional) influenciam no perfil de compostos bioativos, no presente trabalho, uma revisão integrativa foi conduzida para determinar diferenças nos teores dessas substâncias em vegetais. Dos 270 estudos selecionados, 30 foram elegíveis. Em geral, os estudos demonstraram que o sistema de cultivo tem impacto na síntese de compostos bioativos, sendo cultivos orgânicos os que, em média, apresentaram maiores concentrações dessas substâncias, além de maior estabilidade oxidativa. Os resultados mais significativos foram em relação às concentrações de carotenoides, ácidos fenólicos, e atividade antioxidante, que foi em média, 60,57%, 123,28% e 31,29% maior nos alimentos cultivados em sistemas orgânicos, respectivamente. Portanto, pode-se concluir que o potencial funcional e os benefícios à saúde de alimentos orgânicos são maiores, quando comparado ao de alimentos produzidos em sistema de cultivo convencional. Cabe destacar também a importância do estímulo à produção e consumo de alimentos orgânicos, como um dos pilares para a construção de práticas alimentares saudáveis e sustentáveis em oposição à agricultura convencional, pautada no modelo do agronegócio e na dependência no uso de agrotóxicos.

Palavras-chave: agrotóxico; composto fenólico; carotenoide; estabilidade oxidativa.

Introdução

Os alimentos orgânicos têm ganhado cada vez mais interesse pelo consumidor, o que tem impulsionado seu comércio e consumo. Em partes, o aumento dessa demanda se justifica pelo fato de que os alimentos orgânicos são percebidos pelos consumidores como alimentos mais saudáveis, diante das formas pelos quais são produzidos.

No cultivo orgânico, não se utiliza agentes químicos sintéticos como fertilizantes ou agrotóxicos. Apenas compostos de origem natural são permitidos e seus usos são monitorados rigorosamente, enfatizando as tecnologias sustentáveis, a rotação de culturas e métodos alternativos para seleção de linhagens mais resistentes. A agricultura convencional, por outro lado, se sustenta em monoculturas cultivadas em grandes extensões territoriais e depende fortemente do uso de agrotóxicos sintéticos e fertilizantes minerais, bem como de outros insumos agrícolas para controlar o crescimento dos vegetais (BRANTSÆTER et al. 2017; ZHAO et al., 2006).

Assim, o modelo agrícola convencional contrapõe os quatro princípios da agricultura orgânica, formulados pelo *International Federation of Organic Agriculture Movements* (IFOAM): saúde, ecologia, justiça e cuidado. Esses aspectos podem colocar a agricultura orgânica em posição de favorecer a biodiversidade de culturas e a saúde ambiental e humana, sendo, portanto, vista como mais sustentável e saudável pela população.

Com esses princípios e garantias, pode-se prever que os alimentos orgânicos são mais seguros pela menor contaminação com agrotóxicos entre outros agentes químicos com efeitos negativos à saúde (BRANTSÆTER et al., 2017; BARANSKI et al., 2014; SMITH-SPANGLER et al., 2012). No entanto, paralelo às discussões do potencial benéfico dos alimentos orgânicos, pelo menor risco de contaminação com resíduos de agrotóxicos e outros contaminantes, além dos impactos sociais, políticos econômicos e ambientais associados à agricultura convencional, a literatura também sinaliza para o fato de que alimentos produzidos em sistemas de cultivo orgânico podem ser mais saudáveis pelo perfil nutricional e de antioxidantes mais favorável.

Brandt et al. (2011), por exemplo, citam que além da menor contaminação por resíduos de agrotóxicos, metais pesados e micotoxinas, os alimentos orgânicos podem apresentar menor teor de nitrato, maior teor de vitamina C, tocoferóis e minerais como Fe, Mg, P, Zn, além de maior proporção de aminoácidos essenciais.

No entanto, os estudos publicados até o momento são insuficientes para obter evidências consistentes sobre esta hipótese. Estudos experimentais e outras revisões narrativas e sistemáticas, incluindo metanálises, publicadas até o momento citam a maior quantidade de nutrientes e compostos bioativos em alimentos orgânicos (REGANOLD et al., 2016; BARANSKI et al., 2014; BRADT et al., 2011; BRANTSÆTER et al., 2017).

Outras referências, no entanto, concluíram não haver diferenças entre formas de cultivo orgânicas e convencionais ou, até mesmo, a redução na composição nutricional e de compostos bioativos em alimentos orgânicos (DANGOUR2009; SMITH-SPANGLER et al., 2012). Mas as divergências e limitações em muitos desses estudos impedem o estabelecimento de evidências conclusivas sobre esta questão. Há ainda o fato de que quanto essas diferenças são relevantes para a saúde humana, hipótese ainda mais limitada pela ausência de estudos em número suficiente para elucidar essa questão (DESJARDINS et al., 2016; BENBROOK et al., 2009).

Deste modo, sabendo da importância dos compostos bioativos para a saúde e visando contribuir para as discussões nesta temática e trazer evidências mais consistentes sobre a influência que os sistemas de cultivo têm sobre o teor de compostos bioativos e a atividade antioxidante, a presente revisão integrativa tem como objetivo investigar de forma quantitativa os estudos experimentais que comparam como sistemas de cultivos agrícolas (orgânico e convencional) influenciam no perfil de compostos bioativos de alimentos.

Metodologia

Estratégia de busca

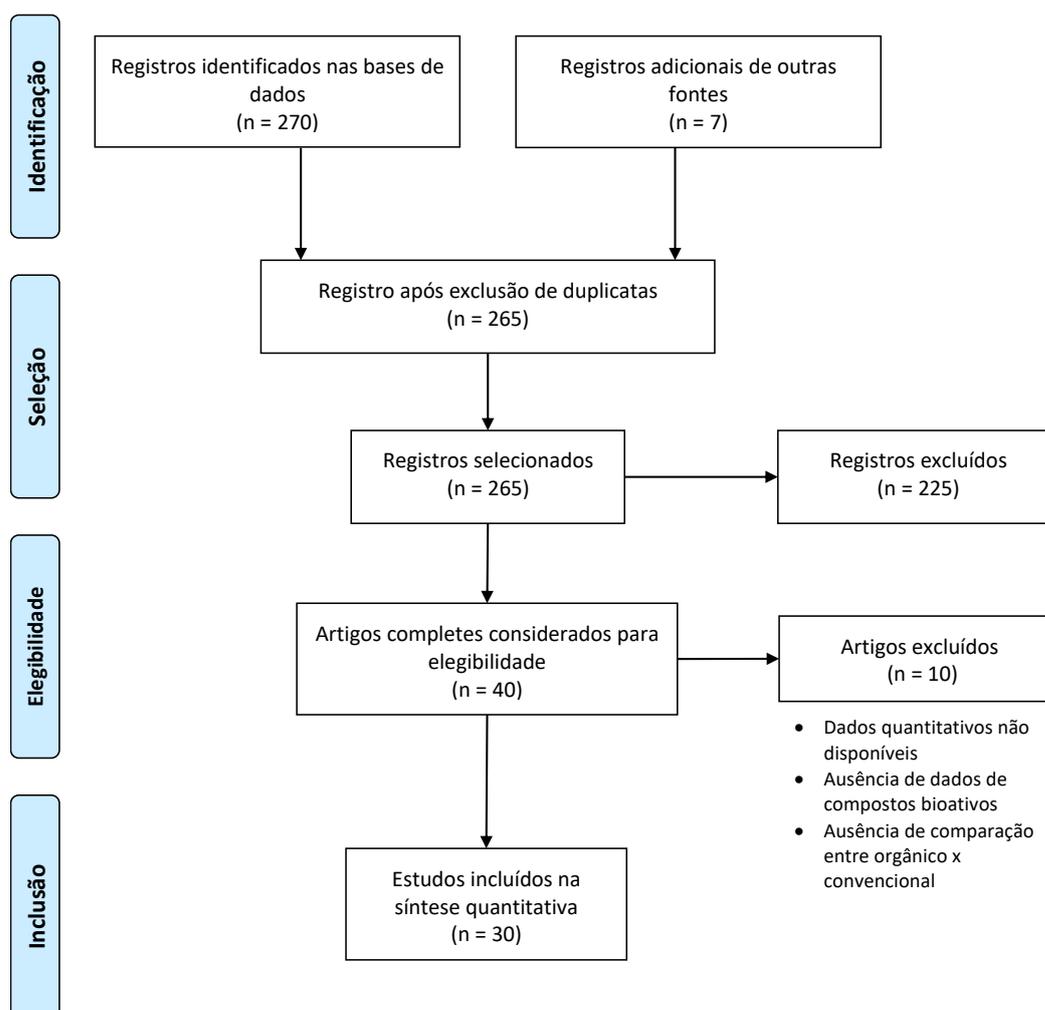
Trata-se de um estudo de revisão integrativa de literatura com o objetivo de sintetizar resultados de estudos sobre a influência que os sistemas de cultivo têm sobre o teor de compostos bioativos e a atividade antioxidante.

A estratégia de busca na literatura científica seguiu o protocolo de Brandt et al. (2013), com adaptações. Os registros relevantes foram identificados nas bases de dados ISI Web of Knowledge (<https://www.webofknowledge.com/>), SciELO (<https://scielo.org/>) e PubMed (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>) por meio de buscas em inglês utilizando o seguinte algoritmo: (1) [*organic** OU *ecologic** OU *biodynamic**]; E (2) [*conventional** OU

*integrated**]; E (3) [*bioactive compound** OU *secondary metabolite**]; E (4) [*food** OU *fruit** OU *vegetable*]. Buscas manuais nas listas de referência de revisões e publicações originais selecionadas também foram conduzidas.

Foram considerados registros publicados em qualquer idioma, contanto que houvesse resumo em inglês, em periódicos com publicações revisadas por pares, que reportavam dados originais de composição de compostos bioativos (metabólitos secundários), comparando alimentos cultivados em sistema agrícola orgânico e convencional. Foram excluídos registros publicados em conferências ou com resultados não publicados na íntegra. A busca foi restrita ao período de janeiro de 2014 até outubro de 2019. Ao todo, 270 registros foram obtidos. O fluxograma do protocolo de busca utilizado está representado na Figura 1.

Figura 1 - Resumo do protocolo de busca na literatura científica para identificação de estudos incluídos na revisão integrativa.



Os títulos e os resumos dos registros selecionados foram analisados para determinar a adequação quanto aos critérios de inclusão, o que levou à seleção de 40 registros. Desses, 10 foram excluídos por não apresentarem dados quantitativos suficientes para análise, pela ausência de dados de compostos bioativos de interesse ou pela ausência de comparação entre sistemas de cultivo orgânico e convencional.

Os dados reportados foram considerados suficientes quando havia a concentração média de ao menos um composto bioativo e/ou metabólito secundário e/ou medidas da atividade antioxidante de alimentos cultivados em sistema de cultivo orgânico e convencional.

Análise dos dados

Os dados do teor de compostos bioativos nos cultivos orgânicos e convencionais reportados numericamente nas publicações foram copiados diretamente para o banco de dados e representado como concentração [orgânico] e concentração [convencional]. Dados representados na forma de gráficos foram aumentados, impressos e medidos usando uma régua para determinação dos valores de forma mais exata, por interpolação.

Quando dados múltiplos eram reportados para o mesmo alimento, duas abordagens foram utilizadas, dependendo da situação. Para vegetais maduros com dados de diferentes períodos/estações de cultivo, ou cultivares, os dados de composição foram tabulados como um único valor que representa a média dos valores obtidos em cada amostra, sendo o número de comparações a expressão do número de amostras reunidas para cálculo dessa média. Em culturas analisadas em diferentes estágios de maturação, apenas as médias do estágio maduro foram consideradas (BARANSKI et al. 2014).

Os compostos bioativos reportados foram agrupados de acordo com suas similaridades bioquímicas, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Compostos bioativos analisados e classificação bioquímica utilizada para agrupamento dos dados.

Classe	Compostos / Medidas incluídos
Atividade antioxidante	ABTS, CUPRAC, DPPH, DMPD, FRAP, ORAC
Carotenoides	Carotenos (a-caroteno, b-caroteno, licopeno) Xantofilas (a-criptoxantina, b-criptoxantina, capsorubina, luteína, zeaxantina)
Fenólicos totais	
Ácidos fenólicos	Cafeico, clorogênico, elágico, ferúlico, gálico, p-cumárico, protocatequínico, vanílico
Flavonoides	Flavanois Flavanonas (naringina, naringenina, narirutina, neoesperidina) Flavonas (apigenina, luteolina) Flavonois (kaempferol, miricetina, quercetina, rutina) Antocianinas (cianidina, delphinidina, pelargonidina)
Fenólicos minoritários	Taninos Feniletanoides (hidroxitirosol, oleuropeína) Lignananas

Para a análise quantitativa do efeito que o sistema de cultivo exerceu sobre os teores de compostos bioativos, procedeu-se o cálculo do efeito relativo pela equação:

$$Efeito\ relativo\ (\%) = \frac{[concentração\ orgânico] - [concentração\ convencional]}{[concentração\ convencional]} \times 100$$

Para representação numérica e gráfica e, posteriormente, discussão dos resultados, os dados do efeito relativo foram separados entre aqueles cujo valor calculado foi negativo (indicando que a concentração do composto no cultivo orgânico foi menor em comparação com o convencional), e aqueles cujo valor calculado foi positivo (indicando que a concentração do composto no cultivo orgânico foi maior em comparação com o convencional). Os efeitos relativos individuais para cada composto bioativo e medida antioxidante obtidos para os sistemas de cultivo orgânico e convencional foram comparados pelo test t de amostras independentes. Foram consideradas significativas as diferenças entre as médias quando $p < 0,05$.

Resultados

Dos 277 estudos selecionados inicialmente, 30 foram elegíveis. Desses estudos, 11 tratavam da diferença em frutos e derivados; 15 em hortaliças; 3 em cereais e leguminosas (centeio, trigo e feijão); e 1 em ervas e condimentos. Os compostos bioativos quantificados foram antioxidantes, carotenoides, fenólicos totais, ácidos fenólicos e flavonoides, além de fenólicos minoritários como taninos, feniletanoides como hidroxitirosol e oleuropeína e lignanas (TABELA 2).

Os estudos utilizaram delineamentos que envolviam cultivo em experimentos de campo simulando condições convencionais e orgânicas, ou a obtenção de amostras comerciais. Em geral, o efeito relativo positivo (concentrações de compostos bioativos e atividade antioxidante maiores nos cultivos orgânicos em comparação com os convencionais), foi significativamente maior que o efeito relativo negativo (concentrações de compostos bioativos e atividade antioxidante maiores nos cultivos convencionais). Isso ficou particularmente evidenciado nos dados de atividade antioxidante, carotenoides e ácidos fenólicos.

Para cada um dos compostos bioativos com diferença significativa, o cultivo orgânico apresentou concentração superior em mais da metade das comparações e estudos analisados. Para os flavonoides, apesar da diferença não ter sido significativa, o número de comparações e estudos que observaram efeito relativo positivo foi ainda mais pronunciado (TABELA 3; FIGURA 2).

Tabela 2 - Estudos incluídos na revisão integrativa, alimentos e compostos bioativos analisados.

Referência	Alimento analisado	Substância					
		Antioxidantes	Carotenoides	Fenólicos totais	Ácidos fenólicos	Flavonoides	Fenólicos minoritários
1. Abountiolas et al. (2018)	Morango		x	x		x	
2. Assumpção et al. (2015)	Óleo de semente de uva		x	x			
3. Barbieri et al. (2015)	Morango	x		x	x		
4. Chebrolu et al. (2015)	Toranja					x	
5. Cuevas et al. (2015)	Ameixa	x	x	x			
6. De Oliveira et al. (2017)	Maracujá			x		x	
7. Frias-Moreno et al. (2019)	Framboesa	x		x	x	x	
8. Friedman et al. (2017)	Batata, casca desidratada	x		x	x	x	
9. Grudzinska et al. (2016)	Batata	x		x			
10. Haas et al. (2016)	Uva, suco integral			x		x	x
11. Hallmann et al. (2017)	Repolho branco			x	x	x	
12. Hallmann et al. (2019a)	Pimentão		x		x	x	
13. Hallmann et al. (2019b)	Damasco		x	x	x	x	
14. Kazimierczak et al. (2014)	Menta, sálvia, alecrim, erva-cidreira		x				
15. Kazimierczak et al. (2016)	Beterraba, suco					x	
16. Ku et al. (2017)	Aspargo	x	x	x		x	
17. Ku et al. (2018)	Aspargo	x	x	x		x	x
18. Kurubas et al. (2018)	Alface	x		x			
19. Lima et al. (2017)	Feijão verde	x	x	x		x	
20. Lopez-Yerena et al. (2019)	Azeite de oliva extravirgem			x	x	x	x
21. Marti et al. (2018)	Tomate				x	x	
22. Mishra et al. (2017)	Centeio	x			x		
23. Nocente et al. (2019)	Trigo duro	x		x			
24. Pertuzatti et al. (2015)	Maracujá		x				
25. Ponder et al. (2019)	Framboesa			x	x	x	
26. Ren et al. (2016)	Cebola	x		x		x	
27. Renaud et al. (2014)	Brócolis		x				
28. Ribes-Moya et al. (2018)	Pimentão, verde e vermelho		x	x			
29. Valverde et al. (2014)	Brócolis			x		x	
30. Wongsu et al. (2016)	Alho	x		x			

Tabela 3 - Teor de compostos bioativos em cultivos orgânicos versus convencional: número de estudos, número de comparações, efeito relativo médio e nível de significância.

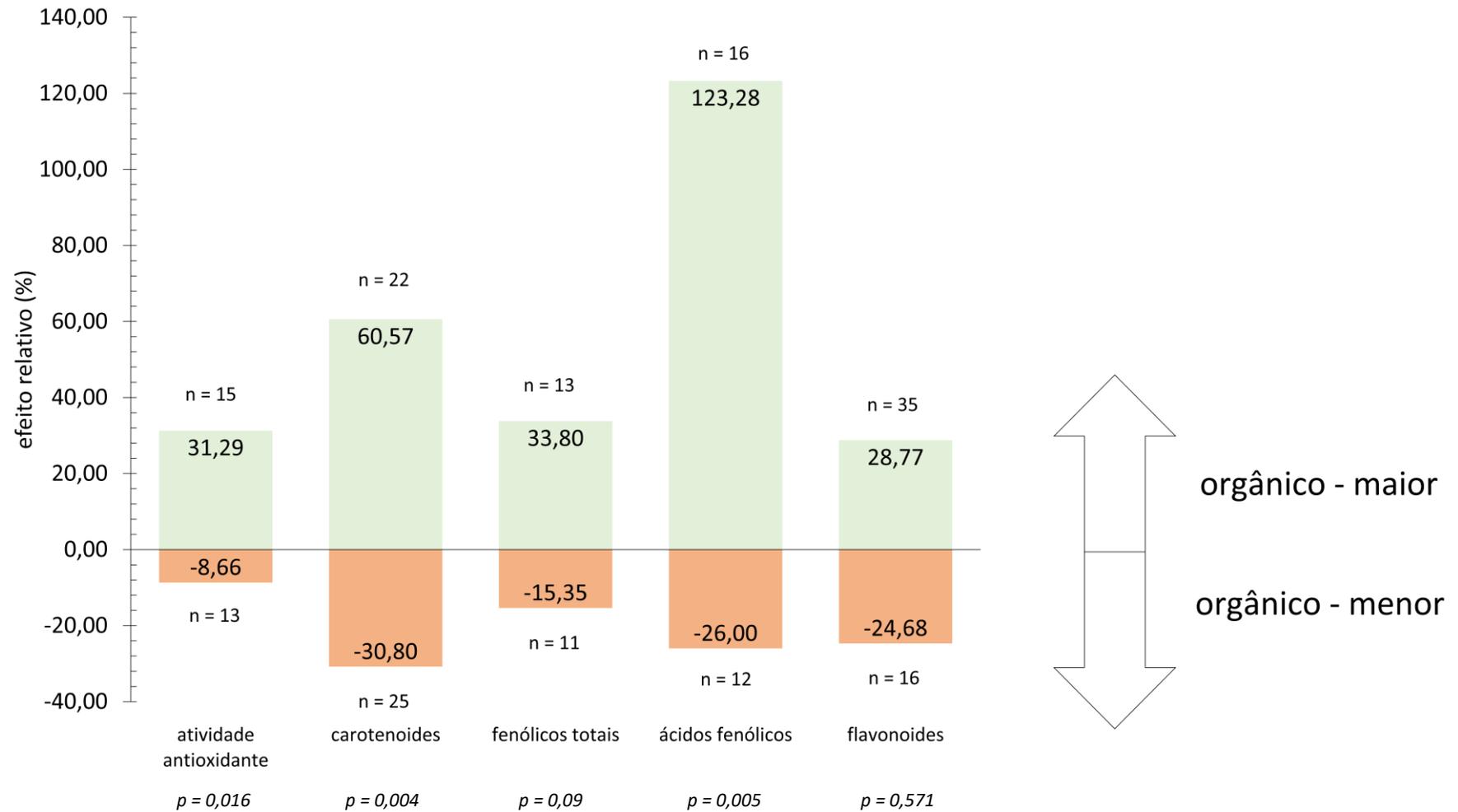
Dado	Medida / Composto bioativo							
	Atividade antioxidante	Carotenoides	Fenólicos totais	Ácidos fenólicos	Flavonoides	Fenólicos minoritários		
						Taninos	Feniletanois	Lignanais
n total *	28	47	24	28	51	2	3	1
n comparações **	146	122	145	81	161	3	3	1
<i>Orgânico - maior</i>								
n	15	22	13	16	35	0	2	0
(%)	(53,57)	(46,81)	(54,17)	(57,14)	(68,63)		(66,67)	
Efeito relativo médio (%)	+ 31,29	+ 60,57	+ 33,80	+ 123,28	+ 28,77		+ 11,85	
Desvio padrão	37,25	90,93	59,09	221,42	72,33		15,01	
Mínimo (%)	+ 0,97	+ 1,14	+ 1,25	+ 6,98	+ 1,70		+ 1,23	
Máximo (%)	+ 126,67	+ 386,09	+ 219,37	+ 678,79	+ 429,52		+ 22,47	
<i>Orgânico - menor</i>								
n	13	25	11	12	16	2	1	1
(%)	(46,43)	(53,19)	(45,83)	(42,86)	(31,37)	(100,00)	(33,33)	(100,00)
Efeito relativo médio (%)	- 8,66	- 30,80	- 15,35	- 26,00	- 24,68	- 13,59	- 99,03	- 40,51
DP	5,53	21,41	13,46	20,66	28,07	1,33		
Mínimo (%)	- 0,14	0,00	- 3,27	0,00	- 1,92	- 12,65		
Máximo (%)	- 15,50	- 92,86	- 49,26	- 62,37	- 100,00	- 14,53		
p-valor ***	0,016	0,004	0,090	0,005	0,571			

* Número total de dados considerados;

** Teor do composto bioativo em uma amostra única de alimento orgânico comparada com uma mesma amostra de alimento convencional;

*** Teste para o efeito relativo médio do cultivo orgânico versus convencional, obtido pelo teste t de amostras independentes. Os sinais + e - se referem ao teor médio do cultivo convencional (100%) como referência. Foram consideradas médias significativamente diferentes quando $p < 0,05$.

Figura 2 - Efeito relativo médio do cultivo orgânico versus convencional sobre o teor de compostos bioativos em alimentos.



Fonte: Dos autores (2020).

Discussão

Os resultados obtidos nesta revisão integrativa trazem evidências que o sistema de cultivo tem impacto na quantidade de compostos bioativos em alimentos vegetais, sendo cultivos orgânicos os que, em média, apresentaram maiores concentrações de substâncias como carotenoides e compostos fenólicos, além de maior estabilidade oxidativa.

Esses resultados mostram que os estudos experimentais mais recentes corroboram estudos anteriores, incluindo revisões sistemáticas e metanálises, que já traziam indícios de que cultivos orgânicos têm maior teor de metabólitos secundários de interesse nutricional (REGANOLD; WACHTER, 2016; BARANSKI et al., 2014; BRANDT et al., 2011; BRANTSÆTER et al., 2017), e contradizem outras publicações divergentes ou inconclusivas, que indicavam a ausência de diferenças significativas entre cultivos orgânicos e convencionais (DANGOUR et al., 2009; SMITH-SPANGLER et al., 2012). O estudo de Dangour et al. (2009), inclusive, concluiu que nos orgânicos, a quantidade de alguns metabólitos secundários foi significativamente menor. Mas esses resultados foram bastante questionados por Desjardins (2016) e Benbrook (2009) posteriormente, por suas controvérsias e limitações metodológicas, favorecendo o fortalecimento de resultados como os apresentados neste estudo.

Estabilidade oxidativa

A atividade antioxidante foi medida nos estudos considerados por diferentes metodologias, capazes de avaliar a estabilidade oxidativa do alimento por diferentes mecanismos. A atividade antioxidante hidrofílica, que pode servir de medida para estimar a quantidade de antioxidantes hidrossolúveis, como compostos fenólicos, por exemplo, foi medida pela capacidade de compostos antioxidante em transferir átomos de hidrogênio para o N,N-dimetil-p-fenilenediamina (DMPD⁺), com conseqüente descolorimento da solução, sendo essa alteração proporcional à quantidade de antioxidante presente (MEHDI; RIZVI, 2013).

Outros métodos incluíram a quantificação da atividade antioxidante de compostos de natureza tanto hidrofílica quanto lipofílica, como carotenoides. Dentre eles: a captura do radical 2,2'-azinobis(3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico) (ABTS) (KU et al., 2017; CUEVAS et al., 2005; FRIEDMAN et al., 2017; MISHRA et al., 2017, BARBIERI et al., 2015; GRUDINSKA et al., 2016) e do radical 2,2-difenil-1-picril-hidrazil (DPPH) (LIMA et al., 2017; KU et al.,

2017; REN et al., 2016; FRIEDMAN et al., 2017; FRIAS-MORENO et al., 2019; WONGSA et al., 2016; MISHRA et al., 2017; KURUBAS et al., 2018); além de metodologias envolvendo mecanismos de redução de íons metálicos como Fe^{3+} e Cu^{3+} (FRAP e CUPRAC, respectivamente) (KU et al., 2017; KU et al., 2018; REN et al., 2016; FRIEDMAN et al., 2017; CUEVAS et al., 2015).

A maior atividade antioxidante por esses diferentes mecanismos pode estar diretamente associada à maior concentração de ampla gama de compostos com potencial antioxidante, como os compostos bioativos de interesse nutricional, principalmente fenólicos e carotenoides (KU et al., 2018). A maior atividade antioxidante nos alimentos de cultivos orgânicos, portanto, pode ser indicativo da maior biossíntese de metabólitos secundários pelo vegetal.

Na agricultura orgânica, o uso limitado de agrotóxicos pode contribuir para aumentar a pressão de pragas, induzindo o desenvolvimento de mecanismos de defesa mais robustos pelo vegetal, o que pode resultar em maior síntese de compostos orgânicos que fornecem à planta meios de mediar interações químicas em seu ambiente. Esses compostos são classificados como metabólitos secundários, que se diferem dos primários em estrutura e função. Enquanto os metabólitos secundários são sintetizados pelo metabolismo vegetal em células ou tecidos específicos, tendendo a ser mais complexos, os metabólitos primários participam, predominantemente, dos processos metabólicos básicos para sobrevivência do vegetal. A biossíntese de metabólitos secundários, no entanto, é iniciada a partir de um metabólito primário, ou de um intermediário específico (VERBERIC et al., 2016).

Compostos fenólicos

A via do ácido chiquímico é responsável pela síntese da maioria dos quase 8000 compostos fenólicos vegetais identificados até o momento (LATIF et al., 2017), e tem como produto aminoácidos aromáticos como a fenilalanina e a tirosina, e os ácidos cinâmicos e seus derivados (fenóis simples, ácidos fenólicos, cumarinas, lignanas e derivados dos fenilpropanoides). Nesta via ocorre uma sequência de sete reações enzimáticas, que se inicia nos plastídios com a condensação de dois metabólitos fosforilados: fosfoenolpiruvato – oriundo da glicólise e eritrose-4-fosfato – oriundo da via das pentoses (CROFT, 2006; QUIÑONES; ALEIXANDRE, 2012; RYAN et al., 2002).

Os aminoácidos aromáticos produzidos, principalmente a fenilalanina, são os precursores da maioria dos compostos fenólicos produzidos posteriormente. A fenilalanina representa o substrato inicial de uma série de reações conhecidas como “metabolismo geral do fenilpropanoide” e refere-se à produção de ácido cinâmico, ácido cumárico e seus derivados. Estes compostos são denominados fenilpropanoides por conter um anel benzênico (C6) e uma cadeia lateral com três carbonos (C3) (GARCÍA; CARRIL, 2009). Estes produtos, combinados aos produtos obtidos da via dos poliacetatos, formam as variedades de fenólicos conhecidas como as lignanas, ligninas, suberinas e cutinas, estilbenos, chalconas, flavonoides e taninos (Figura 2) (PARR; BOLWELL, 2000; STAFFORD, 1990).

Os mecanismos pelos quais esses compostos exercem proteção ao vegetal é variável, e muitos deles ainda são desconhecidos, mas podem envolver reações enzimáticas e fisiológicas que impactam na atividade hormonal, permeabilidade de membranas, fotossíntese e respiração, síntese de compostos orgânicos, autotoxicidade e supressão de plantas daninhas (LATIF et al., 2017).

Carotenoides

Os carotenoides, apesar da grande variabilidade de estruturas que se apresentam, tem como primeiras etapas para a sua biossíntese as reações similares à biossíntese de esteróis e isoprenoides, dando origem aos tetra-terpenoides. O primeiro passo consiste na condensação de duas moléculas de geranigeranil trifosfato (C20) gerando fitoeno (C40), que é catalisada pela enzima fitoeno sintase. A conversão de carotenoides incolores para carotenoides com coloração que varia do amarelo ao vermelho segue uma série de reações de dessaturação e/ou ciclização e/ou adição de grupos funcionais (VON LITING; SIES, 2013).

Assim como os fenólicos, os carotenoides também participam de numerosas funções protetoras no vegetal, podendo atuar como defensivos ou repelentes naturais, antioxidantes, precursores de hormônios e apocarotenoides voláteis, entre outras funções, sendo assim mediadores importantes de interações tritróficas (HEATH et al., 2013).

Portanto, a síntese de metabólitos secundários, sejam fenólicos ou carotenoides, pode ser entendida como uma resposta padrão a qualquer forma de estresse (biótico ou abiótico), sendo uma de suas funções ajudar a planta a superar condições desfavoráveis, principalmente na fase de desenvolvimento da planta. Essas condições parecem prevalecer em sistemas cultivos

orgânicos em comparação com sistemas com uso de agrotóxicos, o que reforça a hipótese de que alimentos orgânicos tem maiores teores de metabólitos secundários e, conseqüentemente, maior estabilidade oxidativa.

Além disso, pesquisas sobre o efeito da fertilização na composição química do vegetal mostram que o aumento da disponibilidade de nitrogênio, que é prática comum em cultivos convencionais, reduz o acúmulo de metabólitos secundários envolvidos no sistema de defesa, além da vitamina C. Pode acontecer, no entanto, o aumento de certos metabólitos que não estão envolvidos exclusivamente no sistema de defesa contra doenças e pragas, como os carotenoides (BRANDT et al., 2011), o que pode justificar os resultados, mesmo que não significativos, do efeito relativo negativo encontrados na presente revisão.

Por outro lado, alguns flavonoides, incluindo as antocianinas, parecem ser muito mais susceptíveis a influência do cultivar do que do método de cultivo (ABOINTIOLAS et al., 2018), o que pode explicar a ausência de diferença significativa para esta classe de substâncias na presente revisão. Além disso, a composição do solo, em particular a disponibilidade de nitrogênio, também pode afetar as vias de biossíntese dessas moléculas (MITCHELL et al., 2007), como discutido anteriormente.

Na pós-colheita e nas próprias metodologias analíticas, também pode haver fatores que interferem no teor desses compostos, que podem não estar relacionados aos mecanismos de biossíntese em si, mas ao efeito das operações e condições que alteram a matriz do alimento. Durante o armazenamento, por exemplo, pode ocorrer a concentração de fenólicos pela perda de umidade decorrente da exposição do alimento ao ambiente (ABOINTIOLAS et al., 2018).

Por essa razão, a literatura é divergente no sentido de trazer evidências mais consistentes sobre a composição química e nutricional de alimentos cultivados em diferentes sistemas de cultivo (VEBERIC, 2016).

Importância funcional

Cabe destacar a relevância dos resultados obtidos na presente revisão sob o ponto de vista nutricional. Apesar de não serem considerados nutrientes essenciais, cada vez mais os estudos têm mostrado o potencial benéfico dessas substâncias em modular reações bioquímicas e fisiológicas do organismo humano, trazendo impactos positivos à saúde, contribuindo para a prevenção de DCNT e manutenção da qualidade de vida dos sujeitos.

Neste sentido, número considerável de evidências químicas, bioquímicas, epidemiológicas e clínicas indicam os efeitos benéficos dos compostos fenólicos e carotenoides sobre a saúde humana. Esses efeitos estão relacionados, principalmente, à capacidade de reagir com espécies reativas ao oxigênio (ROS) e nitrogênio (RNS) e assim, atuar como antioxidante (GURBUZ et al., 2018; ALANON et al., 2019; CASTALDO et al., 2019). Entretanto, eles exercem também diversos outros efeitos biológicos específicos, por meio de mecanismos de ação mais complexos, podendo assim apresentar eficácia quimiopreventiva (ZHOU et al., 2019); modificar a ação de enzimas como cicloxigenases e lipoxigenases (HALLIWELL; RAFTER; JENNER, 2005); interagir nas vias de transdução de sinais (ZHANG et al., 2012) e com fatores de transcrição envolvidos em mecanismos de regulação da célula (HANEISHI et al., 2012); atuar na supressão e prevenção de hiperplasias (OROZCO-SEVILLA et al., 2013) e inibir a função plaquetária (MURPHY et al., 2003)

No entanto, existe até o momento evidências limitadas sobre a relação direta entre consumo de alimentos orgânicos e saúde. Alguns estudos experimentais em animais indicam que os ingredientes orgânicos da ração podem melhorar a fisiologia animal, como parâmetros imunes e equilíbrio hormonal. No entanto, as evidências científicas de estudos em humanos são insuficientes para concluir se, em algum aspecto, os alimentos orgânicos são, por si só, mais benéficos para a saúde do que os alimentos convencionais (BRANTSÆTER et al., 2017).

É inquestionável, entretanto, que alimentos orgânicos têm teores residuais de agrotóxicos e de metais pesados, como Cd e Pb, inferiores que os convencionais (BRANTSÆTER et al., 2017; BARANSKI et al., 2014). Smith-Spangler et al. (2012), por exemplo, em revisão sistemática da literatura avaliando estudos publicados entre 1966 e 2011, demonstrou que alimentos orgânicos tem menor probabilidade de contaminação com agrotóxicos. Outros estudos citam ainda a menor contaminação por micotoxinas, menor teor de nitrato, maior teor de vitamina C, tocoferóis e minerais como Fe, Mg, P, Zn, além de maior proporção de aminoácidos essenciais (BRANDT et al., 2011).

A exposição aos resíduos de agrotóxico encontrados nos alimentos convencionais pode acarretar efeitos agudos, os quais permitem determinar a classificação toxicológica dos seus ingredientes ativos, ou efeitos crônicos, os quais podem ser desencadeados em médio e longo prazo, manifestando-se em doenças como câncer, malformações congênitas, distúrbios endócrinos, neurológicos e mentais. Esse quadro é preocupante, posto que os resquícios desses

produtos tóxicos em frutas e vegetais, mesmo estando dentro da tolerância prevista pelos órgãos oficiais, podem não ser seguros, principalmente para crianças (SANTOS et al., 2014).

Este fato, somado ao perfil de compostos bioativos mais favorável nos estudos de composição, já é fator positivo para que alimentos orgânicos sejam mais saudáveis que alimentos convencionais.

Conclusão

O sistema de cultivo tem impacto na síntese de compostos bioativos em alimentos vegetais, sendo cultivos orgânicos os que, em média, apresentaram maiores concentrações dessas substâncias, além de maior estabilidade oxidativa, mesmo diante variações ambientais as quais os vegetais, independente do sistema de cultivo, estão sujeitos. Os resultados mais significativos foram em relação às concentrações de carotenoides, ácidos fenólicos, e atividade antioxidante, que foi em média, 60,57%, 123,28% e 31,29% maior nos alimentos cultivados em sistemas orgânicos, respectivamente.

Portanto, sabendo que os compostos bioativos demonstram comprovados efeitos sobre a modulação de reações bioquímicas e fisiológicas no organismo humano, e que os alimentos orgânicos também apresentam menores chances de contaminação por resíduos de agrotóxicos e contaminantes como metais pesados, pode-se concluir que o potencial funcional e os benefícios à saúde de alimentos orgânicos são maiores, quando comparado ao de alimentos produzidos em sistema de cultivo convencional.

Cabe destacar também a importância do estímulo à produção e consumo de alimentos orgânicos, como um dos pilares para a construção de práticas alimentares sustentáveis, podendo concomitantemente ter importância econômica e trazer benefícios e ganhos para o produtor rural, pela produção de alimentos mais saudáveis e de maior qualidade.

Referências

ABOUTIOLAS, M.; KELLY, K.; YAGIZ, Y.; LI, Z. *et al.* Sensory Quality, Physicochemical Attributes, Polyphenol Profiles, and Residual Fungicides in Strawberries from Different Disease-Control Treatments. **J Agric Food Chem**, 66, n. 27, p. 6986-6996, Jul 11 2018.

ALANON, M. E.; PALOMO, I.; RODRIGUEZ, L.; FUENTES, E. *et al.* Antiplatelet Activity of Natural Bioactive Extracts from Mango (*Mangifera Indica* L.) and its By-Products. **Antioxidants (Basel)**, 8, n. 11, Oct 29 2019.

ASSUMPCAO, C. F.; NUNES, I. L.; MENDONCA, T. A.; BORTOLIN, R. C. *et al.* Bioactive Compounds and Stability of Organic and Conventional *Vitis labrusca* Grape Seed Oils. **Journal of the American Oil Chemists Society**, 93, n. 1, p. 115-124, Jan 2016.

BARANSKI, M.; SREDNICKA-TOBER, D.; VOLAKAKIS, N.; SEAL, C. *et al.* Higher antioxidant and lower cadmium concentrations and lower incidence of pesticide residues in organically grown crops: a systematic literature review and meta-analyses. **Br J Nutr**, 112, n. 5, p. 794-811, Sep 14 2014.

BARBIERI, G.; COLONNA, E.; ROUPHAEL, Y.; DE PASCALE, S. Effect of the farming system and postharvest frozen storage on quality attributes of two strawberry cultivars. **Fruits**, 70, n. 6, p. 351-360, Nov-Dec 2015.

BENBROOK, C.; DAVIS, D. R.; ANDREWS, P. K. Methodologic flaws in selecting studies and comparing nutrient concentrations led Dangour et al to miss the emerging forest amid the trees. **The American journal of clinical nutrition**, 90, n. 6, p. 1700-1701, 2009.

BRANDT, K.; LEIFERT, C.; SANDERSON, R.; SEAL, C. Agroecosystem management and nutritional quality of plant foods: the case of organic fruits and vegetables. **Critical Reviews in Plant Sciences**, 30, n. 1-2, p. 177-197, 2011.

BRANDT, K.; SREDNICKA-TOBER, D.; BARANSKI, M.; SANDERSON, R. *et al.* Methods for comparing data across differently designed agronomic studies: examples of different meta-analysis methods used to compare relative composition of plant foods grown using organic or conventional production methods and a protocol for a systematic review. **Journal of agricultural and food chemistry**, 61, n. 30, p. 7173-7180, 2013.

BRANTSÆTER, A. L.; YDERSBOND, T. A.; HOPPIN, J. A.; HAUGEN, M. *et al.* Organic Food in the Diet: Exposure and Health Implications. **Annu Rev Public Health**, 38, p. 295-313, Mar 20 2017.

CASTALDO, L.; NARVAEZ, A.; IZZO, L.; GRAZIANI, G. *et al.* Red Wine Consumption and Cardiovascular Health. **Molecules**, 24, n. 19, Oct 8 2019.

CHEBROLU, K. K.; JIFON, J.; PATIL, B. S. Modulation of flavanone and furocoumarin levels in grapefruits (*Citrus paradisi* Macfad.) by production and storage conditions. **Food Chemistry**, 196, p. 374-380, Apr 2016.

CROFT, K. D. The chemistry and biological effects of flavonoids and phenolic acids. **Annals of the New York Academy Science**, New York, n. 854, p. 435-442, 2006.

CUEVAS, F. J.; PRADAS, I.; RUIZ-MORENO, M. J.; ARROYO, F. T. *et al.* Effect of Organic and Conventional Management on Bio-Functional Quality of Thirteen Plum Cultivars (*Prunus salicina* Lindl.). **PLoS One**, 10, n. 8, p. e0136596, 2015.

DANGOUR, A. D.; DODHIA, S. K.; HAYTER, A.; ALLEN, E. *et al.* Nutritional quality of organic foods: a systematic review. **The American journal of clinical nutrition**, 90, n. 3, p. 680-685, 2009.

DE OLIVEIRA, A. B.; LOPES, M. M. D.; MOURA, C. F. H.; OLIVEIRA, L. D. *et al.* Effects of organic vs. conventional farming systems on quality and antioxidant metabolism of passion fruit during maturation. **Scientia Horticulturae**, 222, p. 84-89, Aug 2017.

DESJARDINS, Y., 2015, **Are organically grown fruits and vegetables nutritionally better than conventional ones? Revisiting the question with new eyes.** 187-200.

DUSMAN, E.; DE ALMEIDA, I. V.; LUCCHETTA, L.; VICENTINI, V. E. Effect of processing, post-harvest irradiation, and production system on the cytotoxicity and mutagenicity of *Vitis labrusca* L. juices in HTC cells. **PLoS One**, 9, n. 9, p. e107974, 2014.

FRIAS-MORENO, M. N.; OLIVAS-OROZCO, G. I.; GONZALEZ-AGUILAR, G. A.; BENITEZ-ENRIQUEZ, Y. E. *et al.* Yield, Quality and Phytochemicals of Organic and Conventional Raspberry Cultivated in Chihuahua, Mexico. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**, 47, n. 2, p. 522-530, 2019.

FRIEDMAN, M.; KOZUKUE, N.; KIM, H. J.; CHOI, S. H. *et al.* Glycoalkaloid, phenolic, and flavonoid content and antioxidative activities of conventional nonorganic and organic potato peel powders from commercial gold, red, and Russet potatoes. **Journal of Food Composition and Analysis**, 62, p. 69-75, Sep 2017.

GARCÍA, A. A.; CARRIL, E. P. U. Metabolismo secundario de plantas. **Reduca (Biologia) - Série Fisiologia Vegetal**, Madrid, v. 2, n. 3, p. 119-145, 2009.

GRUDZINSKA, M.; CZERKO, Z.; ZARZYNSKA, K.; BOROWSKA-KOMENDA, M. Bioactive Compounds in Potato Tubers: Effects of Farming System, Cooking Method, and Flesh Color. **PLoS One**, 11, n. 5, p. e0153980, 2016.

GURBUZ, N.; ULUISIK, S.; FRARY, A.; FRARY, A. *et al.* Health benefits and bioactive compounds of eggplant. **Food Chem**, 268, p. 602-610, Dec 1 2018.

HAAS, I. C. D.; TOALDO, I. M.; DE GOIS, J. S.; BORGES, D. L. G. *et al.* Phytochemicals, Monosaccharides and Elemental Composition of the Non-Pomace Constituent of Organic and Conventional Grape Juices (*Vitis labrusca* L.): Effect of Drying on the Bioactive Content. **Plant Foods for Human Nutrition**, 71, n. 4, p. 422-428, Dec 2016.

HALLIWELL, B.; RAFTER, J.; JENNER, A. Health promotion by flavonoids, tocopherols, tocotrienols, and other phenols: direct or indirect effects? antioxidant or not? **Journal of Clinical Nutrition**, Philadelphia, v. 81, p. 268-276, 2005.

HALLMANN, E.; KAZIMIERCZAK, R.; MARSZALEK, K.; DRELA, N. *et al.* The Nutritive Value of Organic and Conventional White Cabbage (*Brassica Oleracea* L. Var. *Capitata*) and Anti-Apoptotic Activity in Gastric Adenocarcinoma Cells of Sauerkraut Juice Produced Therof. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 65, n. 37, p. 8171-8183, Sep 2017.

HALLMANN, E.; MARSZALEK, K.; LIPOWSKI, J.; JASINSKA, U. *et al.* Polyphenols and carotenoids in pickled bell pepper from organic and conventional production. **Food Chem**, 278, p. 254-260, Apr 25 2019.

HALLMANN, E.; ROZPARA, E.; SLOWIANEK, M.; LESZCZYNSKA, J. The effect of organic and conventional farm management on the allergenic potency and bioactive compounds status of apricots (*Prunus armeniaca* L.). **Food Chemistry**, 279, p. 171-178, May 2019.

HANEISHI, A. *et al.* Analysis of induction mechanisms of an insulin-inducible transcription factor SHARP-2 gene by (-)-Epigallocatechin-3-gallate. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 60, p. 9850-9855, 2012.

HEATH, J. J.; CIPOLLINI, D. F.; STIREMAN III, J. O. The role of carotenoids and their derivatives in mediating interactions between insects and their environment. **Arthropod-Plant Interactions**, 7, n. 1, p. 1-20, 2013.

JARVAN, M.; LUKME, L.; TUPITS, I.; AKK, A. The productivity, quality and bread-making properties of organically and conventionally grown winter rye. **Zemdirbyste-Agriculture**, 105, n. 4, p. 323-330, 2018.

KAZIMIERCZAK, R.; HALLMANN, E.; REMBIALKOWSKA, E. Effects of organic and conventional production systems on the content of bioactive substances in four species of medicinal plants. **Biological Agriculture & Horticulture**, 31, n. 2, p. 118-127, Apr 2015.

KAZIMIERCZAK, R.; SILAKIEWICZ, A.; HALLMANN, E.; SREDNICKA-TOBER, D. *et al.* Chemical Composition of Selected Beetroot Juices in Relation to Beetroot Production System and Processing Technology. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**, 44, n. 2, p. 491-498, Jul-Dec 2016.

KU, Y. G.; BAE, J. H.; NAMIESNIK, J.; BARASCH, D. *et al.* Detection of Bioactive Compounds in Organically and Conventionally Grown Asparagus Spears. **Food Analytical Methods**, 11, n. 1, p. 309-318, Jan 2018.

KU, Y. G.; KANG, D. H.; LEE, C. K.; LEE, S. Y. *et al.* Influence of different cultivation systems on bioactivity of asparagus. **Food Chem**, 244, p. 349-358, Apr 1 2018.

KURUBAS, M. S.; MALTAS, A. S.; DOGAN, A.; KAPLAN, M. *et al.* Comparison of organically and conventionally produced Batavia type lettuce stored in modified atmosphere packaging for postharvest quality and nutritional parameters. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 99, n. 1, p. 226-234, Jan 2019.

LATIF, S.; CHIAPUSIO, G.; WESTON, L. Allelopathy and the role of allelochemicals in plant defence. *In: Advances in botanical research*: Elsevier, 2017. v. 82, p. 19-54.

LIMA, G. P. P.; COSTA, S. M.; MONACO, K. A.; ULIANA, M. R. *et al.* Cooking processes increase bioactive compounds in organic and conventional green beans. **Int J Food Sci Nutr**, 68, n. 8, p. 919-930, Dec 2017.

LOPEZ-YERENA, A.; LOZANO-CASTELLON, J.; OLMO-CUNILLERA, A.; TRESSERRA-RIMBAU, A. *et al.* Effects of Organic and Conventional Growing Systems on the Phenolic Profile of Extra-Virgin Olive Oil. **Molecules**, 24, n. 10, May 2019.

MARTI, R.; LEIVA-BRONDO, M.; LAHOZ, I.; CAMPILLO, C. *et al.* Polyphenol and L-ascorbic acid content in tomato as influenced by high lycopene genotypes and organic farming at different environments. **Food Chemistry**, 239, p. 148-156, Jan 2018.

MEHDI, M. M.; RIZVI, S. I. N,N-Dimethyl-p-phenylenediamine dihydrochloride-based method for the measurement of plasma oxidative capacity during human aging. **Anal Biochem**, 436, n. 2, p. 165-167, May 15 2013.

MISHRA, L. K.; SARKAR, D.; ZWINGER, S.; SHETTY, K. Phenolic antioxidant-linked anti-hyperglycemic properties of rye cultivars grown under conventional and organic production systems. **Journal of Cereal Science**, 76, p. 108-115, Jul 2017.

Mitchell, A. E.; Hong, Y.-J.; Koh, E.; Barrett, D. M.; Bryant, D.; Denison, R. F.; Kaffka, S. Ten-year comparison of the influence of organic and conventional crop management practices on the content of flavonoids in tomatoes. *J. Agric. Food Chem.* **2007**, 55, 6154-6159.

MURPHY, K. J. *et al.* Dietary flavanols and procyanidin oligomers from cocoa (*Theobroma cacao*) inhibit platelet function 1-3. **The American Journal of Clinical Nutrition**, New York, v. 77, p. 1466-1473, 2003.

NOCENTE, F.; DE STEFANIS, E.; CICCORITTI, R.; PUCCIARMATI, S. *et al.* How do conventional and organic management affect the healthy potential of durum wheat grain and semolina pasta traits? **Food Chem**, 297, p. 124884, Nov 1 2019.

OROZCO-SEVILLA, V. *et al.* Epigallocatechin-3-gallate is a potent phytochemical inhibitor of intimal hyperplasia in the wire-injured carotid artery. **Journal of Vascular Surgery**, Saint Louis, v. 58, n. 5, p. 1360-1365, 2013.

PARR, A. J.; BOLWELL, G. P. Phenols in the plant and in man: the potential for possible nutritional enhancement of the diet by modifying the phenols content or profile. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 80, p. 985-1012, 2000.

PERTUZATTI, P. B.; SGANZERLA, M.; JACQUES, A. C.; BARCIA, M. T. *et al.* Carotenoids, tocopherols and ascorbic acid content in yellow passion fruit (*Passiflora edulis*) grown under different cultivation systems. **Lwt-Food Science and Technology**, 64, n. 1, p. 259-263, Nov 2015.

PONDER, A.; HALLMANN, E. The effects of organic and conventional farm management and harvest time on the polyphenol content in different raspberry cultivars. **Food Chem**, 301, p. 125295, Dec 15 2019.

QUÍÑONES, M.; ALEIXANDRE, M. M. A. Los polifenoles, compuestos de origen natural con efectos saludables sobre el sistema cardiovascular. **Nutrición Hospitalaria**, Madrid, v. 27, n. 1, p. 76-89, 2012.

REGANOLD, J. P.; WACHTER, J. M. Organic agriculture in the twenty-first century. **Nature plants**, 2, n. 2, p. 15221, 2016.

REGANOLD, J. P.; WACHTER, J. M. Organic agriculture in the twenty-first century. **Nature plants**, 2, n. 2, p. 15221, 2016.

REN, F. Y.; REILLY, K.; GAFFNEY, M.; KERRY, J. P. *et al.* Evaluation of polyphenolic content and antioxidant activity in two onion varieties grown under organic and conventional production systems. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 97, n. 9, p. 2982-2990, Jul 2017.

REN, F. Y.; REILLY, K.; KERRY, J. P.; GAFFNEY, M. *et al.* Higher Antioxidant Activity, Total Flavonols, and Specific Quercetin Glucosides in Two Different Onion (*Allium cepa* L.) Varieties Grown under Organic Production: Results from a 6-Year Field Study. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 65, n. 25, p. 5122-5132, Jun 2017.

RIBES-MOYA, A. M.; RAIGON, M. D.; MORENO-PERIS, E.; FITA, A. *et al.* Response to organic cultivation of heirloom Capsicum peppers: Variation in the level of bioactive compounds and effect of ripening. **PLoS One**, 13, n. 11, p. e0207888, 2018.

RYAN, D. *et al.* Biotransformations of phenolic compounds in *Olea europaea* L. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 92, p. 147-176, 2002.

SANDEI, L.; STINGONE, C.; MORINI, E.; ZACCARDELLI, M. *et al.* Nutritional and Quality Comparison between Organic and Conventional Fresh and Processing Tomato: Results of a Two-Year Project. *In: XIII International Symposium on Processing Tomato*, 2015. v. 1081, p. 331-338. (Acta Horticulturae).

SANTOS, F. d.; FERNANDES, P. F.; ROCKETT, F. C.; OLIVEIRA, A. B. A. d. Avaliação da inserção de alimentos orgânicos provenientes da agricultura familiar na alimentação escolar, em municípios dos territórios rurais do Rio Grande do Sul, Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, 19, p. 1429-1436, 2014.

SLOWIANEK, M.; SKORUPA, M.; HALLMANN, E.; REMBIALKOWSKA, E. *et al.* Allergenic Potential of Tomatoes Cultivated in Organic and Conventional Systems. **Plant Foods Hum Nutr**, 71, n. 1, p. 35-41, Mar 2016.

SMITH-SPANGLER, C.; BRANDEAU, M. L.; HUNTER, G. E.; BAVINGER, J. C. *et al.* Are organic foods safer or healthier than conventional alternatives?: a systematic review. **Annals of internal medicine**, 157, n. 5, p. 348-366, 2012.

STAFFORD, H. A. **Flavonoid metabolism**. Boca Raton: CRC, 1990. 360 p.

VALVERDE, J.; REILLY, K.; VILLACRECES, S.; GAFFNEY, M. *et al.* Variation in bioactive content in broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) grown under conventional and organic production systems. **J Sci Food Agric**, 95, n. 6, p. 1163-1171, Apr 2015.

VEBERIC, R. The impact of production technology on plant phenolics. **Horticulturae**, 2, n. 3, p. 8, 2016.

VON LINTIG, J.; SIES, H. Carotenoids. **Arch Biochem Biophys**, 539, n. 2, p. 99-101, Nov 15 2013.

WONGSA, P.; SPREER, W.; SRUAMSIRI, P.; MULLER, J. Allicin and total phenolic content and antioxidant activity in conventional and organic garlic. *In: **Xxix International Horticultural Congress on Horticulture:Sustaining Lives,Livelihoods and Landscapes:V World Congress on Medicinal and Aromatic Plants and International Symposium on Plants as Factories of Natural Substances,Edible and Essential Oils***, 2016. v. 1125, p. 129-135. (Acta Horticulturae).

ZHANG, X. H. et al. Flavonoid myricetin modulates GABA(A) receptor activity through activation of Ca(2+) channels and CaMK-II pathway. **Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine**, Bethesda, v. 2012, p. 1-10, 2012.

ZHAO, X.; RAJASHEKAR, C.; CAREY, E. E.; WANG, W. Does organic production enhance phytochemical content of fruit and vegetables? Current knowledge and prospects for research. **HortTechnology**, 16, n. 3, p. 449-456, 2006.

ZHOU, Q.; PAN, H.; LI, J. Molecular Insights into Potential Contributions of Natural Polyphenols to Lung Cancer Treatment. **Cancers (Basel)**, 11, n. 10, Oct 15 2019.

ARTIGO 3

Versão preliminar para submissão e envio à revista científica Cadernos de Saúde Pública
O conselho editorial do periódico poderá sugerir alterações para adequá-lo ao seu próprio
estilo

**REDUÇÃO DE RESÍDUOS DE AGROTÓXICOS EM ALIMENTOS:
PRÁTICAS DOMÉSTICAS DE PROCESSAMENTO SÃO EFETIVAS?**

Rafaela Corrêa Pereira^{1,2}, Michel Cardoso de Angelis-Pereira¹

¹ Departamento de Nutrição, Universidade Federal de Lavras, Lavras - MG

² Departamento de Ciências Agrárias, Instituto Federal de Minas Gerais, Bambuí - MG

Autor para correspondência

Departamento de Nutrição, Universidade Federal de Lavras; Lavras - MG, Brasil; CEP
37200-000; Caixa postal: 3037; deangelis@ufla.br; +55 35 3829 1992

Resumo

A ingestão de alimentos contaminados por resíduos de agrotóxicos é considerada rota primária de exposição para a maioria dos agrotóxicos pela população. É importante identificar se existem soluções ou técnicas de amenização efetivas desses riscos. Esta revisão integrativa tem como objetivos analisar evidências científicas sobre práticas domésticas para redução de resíduos de agrotóxicos em alimentos, discutindo os mecanismos pelos quais essas técnicas podem ser efetivas ou não. Ao todo, 460 registros foram analisados, levando a seleção de 21 artigos. A redução dos resíduos de agrotóxicos por técnicas como lavagem em água e soluções ácidas, alcalinas e detergentes, descascamento, homogeneização e cocção, podem ser estratégias eficazes para redução de certos resíduos de agrotóxicos. Dentre os principais mecanismos envolvidos estão a solubilização, a hidrólise, a degradação térmica, a oxidação e a volatilização, sendo a efetividade de cada técnica dependente da natureza físico-química do agrotóxico, do alimento e das condições de processamento. No entanto, em alguns casos, essas técnicas podem não ser eficazes. A cocção, por exemplo, além de levar a formação de metabólitos secundários de natureza desconhecida, pode promover a concentração do alimento, fazendo com que os resíduos sejam concentrados no produto. Deve-se considerar também que essas técnicas, se por um lado favorecem a segurança pela redução de componentes potencialmente tóxicos e patogênicos, por outro, pode comprometer as características nutricionais e funcionais do produto, pela diminuição dos teores de fibras e antioxidantes, principalmente.

Palavras-chave: Degradação de Resíduos Químicos; Solubilidade; Culinária.

ABSTRACT

Ingestion of food contaminated by pesticide residues is considered the primary route of exposure for most pesticides by the population. It is important to identify whether there are effective solutions or techniques for mitigating these risks. This integrative review aims to analyze scientific evidence on domestic practices for reducing pesticide residues in food, discussing the mechanisms by which these techniques can be effective or not. In all, 460 records were analyzed, leading to the selection of 21 articles. The reduction of pesticide residues by techniques such as washing in water and acidic, alkaline and detergent solutions, peeling, homogenization and cooking, can be effective strategies to reduce certain pesticide residues. Among the main mechanisms involved are solubilization, hydrolysis, thermal degradation, oxidation and volatilization, the effectiveness of each technique depending on the physical-chemical nature of the pesticide, food and processing conditions. However, in some cases, these techniques may not be effective. Cooking, for example, in addition to leading to the formation of secondary metabolites of an unknown nature, can promote the concentration of the food, causing the residues to be concentrated in the product. It should also be considered that these techniques, if on the one hand favor safety by reducing potentially toxic and pathogenic components, on the other, can compromise the nutritional and functional characteristics of the product, by decreasing the levels of fibers and antioxidants, mainly.

Keywords: Chemical Waste Degradation; Solubility; Cooking.

Introdução

O uso de agrotóxicos na agricultura tem sido cada vez mais questionado diante seus efeitos tóxicos aos seres vivos e ao meio ambiente, sendo um dos principais contaminantes encontrados no solo, água, ar e alimentos ^{1,2}.

Essas evidências têm levado à elaboração de regulamentações para uso de agrotóxicos em todo o mundo, além do desenvolvimento de novas formas de combate a pragas, para manter, ou administrar, a população de pragas em níveis inferiores aos que provocam dano econômico, garantindo a qualidade do ambiente e proteção à saúde humana ³.

Ao mesmo tempo, os estudos ressaltam a necessidade de fornecer ao consumidor soluções ou técnicas de amenização desses riscos que sejam práticas e acessíveis em curto prazo, especialmente sobre vegetais de consumo frequente pela população ⁴.

A princípio, resíduos de agrotóxicos em frutas e hortaliças podem ser reduzidos por meio do processamento doméstico e industrial. A magnitude dessa redução pode ser predita por diferentes parâmetros físico-químicos como solubilidade e coeficiente de partição, constantes de taxa hidrolítica, volatilidade e a localização física do resíduo ⁵.

A literatura é extensa quanto ao estudo dos efeitos de variáveis como tempo de carência, além de técnicas comerciais como descascamento, fermentação e refrigeração entre outras operações, sobre a concentração de resíduos de agrotóxicos em alimentos. Muitos desses estudos, inclusive, são requisitos para o registro de novos produtos em muitos países e, por isso, em sua maioria, consideram produtos isolados sobre matrizes específicas.

No entanto, ainda há ausência de evidências práticas sobre o efeito de técnicas domésticas, em especial quando se considera a interação de múltiplos compostos em diferentes matrizes alimentícias. Essas evidências podem ser úteis ao consumidor, como estratégia para diminuir a exposição aos resíduos de agrotóxicos e, conseqüentemente, reduzir os riscos à saúde associados ⁶.

Assim, a presente revisão tem como objetivos integrar as evidências científicas mais recentes que tratam de técnicas domésticas para redução de resíduos de agrotóxicos, discutindo os mecanismos pelos quais essas técnicas podem ser efetivas, as condições ótimas de aplicação e limitações.

Metodologia

Trata-se de um estudo de revisão integrativa de literatura com o objetivo de sintetizar resultados de estudos sobre práticas domésticas para redução de resíduos de agrotóxicos em alimentos, discutindo os mecanismos pelos quais essas técnicas podem ser efetivas ou não.

A estratégia de busca envolveu a pesquisa por registros relevantes disponíveis nas bases de dados ISI Web of Knowledge (<https://www.webofknowledge.com/>), SciELO (<https://scielo.org/>) e PubMed (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>). As buscas foram realizadas em inglês utilizando o seguinte algoritmo: (1) [*pesticide residue**]; E (2) [*reduction**]; E (3) [*food** OU *fruit** OU *vegetable*]. Buscas manuais nas listas de referência de revisões e publicações originais selecionadas também foram conduzidas. A busca foi restrita ao período de janeiro de 2014 até outubro de 2019.

Foram considerados registros publicados em qualquer idioma, contanto que houvesse resumo em inglês, em periódicos com publicações revisadas por pares, que reportavam dados originais de concentração de agrotóxicos em alimentos antes e após processamento doméstico. Foram excluídos registros publicados em conferências ou com resultados não publicados na íntegra.

Ao todo, 460 registros foram obtidos. Os títulos e os resumos dos registros selecionados foram analisados para determinar a adequação quanto aos critérios de inclusão, o que levou à seleção de 93 registros, que passaram por análise de elegibilidade para seleção dos estudos apropriados para inclusão na revisão integrativa proposta, de acordo com os critérios de inclusão definidos.

Foram selecionados 21 artigos. Um banco de dados com a descrição de cada estudo e com dados quantitativos da capacidade de redução de resíduos de agrotóxicos pelas técnicas empregadas foi elaborado visando compreender o efeito de cada método sobre agrotóxicos específicos, considerando suas propriedades físico-químicas, e buscando evidenciar os efeitos e viabilidade de aplicação prática de cada técnica.

Esse banco de dados foi posteriormente dividido em três tabelas de maneira a agrupar os resultados de acordo com as técnicas descritas nos estudos: i) tratamentos de limpeza e imersão em água e/ou solução ácidas, alcalinas e salinas, ii) técnicas culinárias como descascamento, homogeneização e processamento e iii) técnicas envolvendo calor ou refrigeração. Uma discussão qualitativa foi realizada a partir desses resultados,

buscando compreender a eficácia dessas técnicas e os mecanismos envolvidos da remoção e/ou degradação dos resíduos de agrotóxicos.

Resultados e discussão

As Tabelas 1, 2 e 3 a seguir apresentam os níveis de redução de resíduos de agrotóxicos obtidos pelos 21 estudos elegíveis após os tratamentos de limpeza e imersão em água e/ou solução ácidas, alcalinas e salinas, de técnicas culinárias como descascamento, homogeneização e processamento e técnicas envolvendo calor ou refrigeração.

Em geral, os resultados demonstram que essas técnicas tiveram efetividade variável dependendo da natureza físico-química do agrotóxico, do alimento e do tratamento utilizado. Esses resultados se devem aos diferentes mecanismos envolvidos na alteração e/ou redução de resíduos de agrotóxicos em alimentos, com destaque para a solubilização, degradação pelo calor, hidrólise, metabolismo, oxidação, penetração, fotodegradação, volatilização e alterações físicas.

Limpeza e imersão

A limpeza com água é a operação preliminar mais tradicional, simples e barata para remoção de sujeira e impurezas de alimentos de origem vegetal previamente ao seu consumo, seja ele cru, cozido ou como parte de outras preparações culinárias ⁵.

A solubilidade do agrotóxico, ou o coeficiente de partição, é a principal propriedade que explica como a limpeza e a imersão podem reduzir suas concentrações no alimento ⁷. Essa propriedade se relaciona à polaridade da molécula, sendo que agrotóxicos mais polares são mais solúveis do que menos polares/apolares ⁸.

A Tabela 1 apresenta os níveis de redução dos descritos nos diferentes estudos considerados nesta revisão tratando da lavagem.

Por exemplo, o boscalide é um produto formulado em pó higroscópico, o que implica que seus resíduos se depositam como finas partículas na superfície do vegetal, podendo assim serem removidos com eficiência com a lavagem após sua aplicação ²¹.

A classe de organoclorados, como DDT e hexaclorocicloexano, por outro lado, se caracterizam como substâncias muito lipossolúveis e, conseqüentemente, difíceis de

serem removidas por técnicas simples e viáveis ao consumidor no ambiente doméstico, como a lavagem.

A solubilidade do agrotóxico pode variar com o aumento da temperatura, a depender do tipo de ligação do agrotóxico com a matriz do alimento, que por sua vez afeta o coeficiente de partição. Kaushik et al. ⁵, demonstrou que tomates lavados com água morna teve maior redução de clorpirifós do que tomates lavados com água em temperatura ambiente.

Mas a solubilidade, por si só, não é determinante, uma vez que o tipo de ligação do agrotóxico com a matriz do alimento, a concentração residual inicial, o mecanismo de atuação (sistêmico ou não sistêmico) podem influenciar de forma muito mais significativa.

Algumas evidências não demonstram correlação entre estrutura química e quantidade de resíduos removidos pela lavagem, como no estudo de Shakoori et al. ¹⁵ com arroz. Nesse estudo, diferentes compostos ativos do grupo dos organofosforados não foram eliminados com a mesma eficácia. O estudo, por outro lado, reforçou a hipótese de que a remoção é mais fácil dos agrotóxicos não aderidos na superfície.

A solubilidade em água também não foi diretamente proporcional à remoção pela lavagem segundo este mesmo estudo. Como o arroz é uma matriz de alta capacidade de retenção de água, pode ocorrer a absorção de resíduos que antes estavam localizados na superfície para o interior do grão ¹⁵.

Assim, o coeficiente de partição ou a solubilidade em água nem sempre pode corresponder às maiores taxas de redução. Agrotóxicos com alto coeficiente de partição podem ser absorvidos rapidamente e serem fortemente retidos por ceras na pele de tomates. Uma vez retidos, a limpeza com água não é efetiva na remoção desse resíduo ^{13, 21}.

Por mais que sejam solúveis, agrotóxicos sistêmicos são eliminados em menor nível quando comparados aos não sistêmicos ²¹. Agrotóxicos não sistêmicos são aqueles que não penetram no tecido do vegetal e formam camada superficial que pode ser mais facilmente removida pela limpeza ou descascamento. Incluem nessa classe os organofosforados ⁸. Por outro lado, mesmo sendo solúvel, o imidacloprid, por sua atuação sistêmica, não pode ser significativamente removido pela lavagem ⁴.

No estudo de Kwon et al. ¹⁰, o chlrorothalonil, agrotóxico não sistêmico e de baixa solubilidade em água, teve remoção mais efetiva que oxadixyl, que tem características sistêmicas e alta solubilidade em água. Isso se justifica pelo fato de que, mesmo sendo

parcialmente solúveis, esses agrotóxicos são deslocados da superfície do vegetal no processo de lavagem e/ou imersão em água corrente. Estudos com o clorpirifós trouxeram evidências que sustentam essa hipótese ^{8,13}. De fato, é preconizado pela OMS ²² que a lavagem pode ser empregada para redução de resíduos de agrotóxicos não sistêmicos.

Cabe ressaltar que esses efeitos são dependentes da concentração residual inicial no alimento ⁸ e do período de carência entre aplicação e colheita/comercialização ⁴. O imidacloprid e a abamectina têm, por exemplo, tempo de carência de aproximadamente 21 e 14 dias, respectivamente. Isto significa que quando esses agrotóxicos são aplicados, o alimento não pode ser destinado ao consumo antes desses prazos de carência, que correspondem ao tempo de persistência e de atividade do agrotóxico no vegetal e que são dependentes de parâmetros de campo como umidade, temperatura, precipitação e características da matriz do vegetal ⁵.

É comum, principalmente em países em desenvolvimento, a colheita de frutas e hortaliças antes do período de carência. Assim, os níveis residuais de agrotóxicos nesses alimentos estão acima dos limites máximos permitidos, expondo o consumidor aos riscos associados a essa exposição ⁶.

Porém, é importante que este período seja respeitado para garantir o fornecimento de alimentos seguros para o consumidor, mas os dados de contaminação divulgados por programas de monitoramento de resíduos mostram que em muitos casos os agricultores não seguem as recomendações, seja por opção (aumentar fluxo vendas) ou por desconhecimento ⁴.

O efeito da limpeza também é dependente das culturas analisadas já que podem interferir na remoção dos resíduos de agrotóxicos a natureza fisiológica e as características morfológicas (área superficial, razão volumétrica, espessura, presença de cera na cutícula). No estudo de Khaghani et al. ⁴, a limpeza foi mais efetiva para remoção de resíduos de abamectina no pepino do que no tomate. Já o clorpirifós foi reduzido em 0,2, 3,65, 10,6, 36,3 e 46,6% no repolho, brotos de alho, pepino, berinjela e tomate, respectivamente ⁹.

O tempo de limpeza também parece ser diretamente proporcional à redução de resíduos de agrotóxicos ¹⁸. Assim, quanto maior o tempo de lavagem ou imersão, maiores serão as taxas de redução dos resíduos.

Já a lavagem com soluções ácidas, alcalinas, oxidantes e/ou salinas, em geral, parecem remover os agrotóxicos com maior eficácia do que com água apenas. Quando

essas soluções são utilizadas, os componentes ativos do agrotóxico sofrem reações químicas que desestabilizam sua molécula.

Em organofosforados, como o clorpirifós, por exemplo, pode haver hidrólise de sua estrutura química pela quebra de um éster de fósforo ou de trifosfato, que é dependente do pH da solução ^{5,7}.

A imersão em solução salina (2% NaCl; 10 min) parece ser método conveniente para diminuir a carga de agrotóxicos da superfície do vegetal (tetraniliprole, chlorothalonil) ⁵(Kaushik et al. 2019). A limpeza com detergente a base de bicarbonato de sódio pode também ser eficaz (diclorvos, fenitrothion, clorpirifós) ⁴.

Segundo Wu et al. ¹⁸, o efeito mais pronunciado (20 – 40%,) de soluções alcalinas e soluções a base de bicarbonato de sódio na redução de resíduos de agrotóxicos se relaciona ao alto pH e ao baixo potencial de oxidação-redução dessas soluções. O ozônio e a água oxigenada, por sua vez, têm alta capacidade de oxidação, que pode degradar ligações insaturadas e oxidar grupos funcionais e assim decompor boa parte dos compostos orgânicos, sem produção de compostos secundários poluentes.

Descascamento, homogeneização e processamento

O descascamento pode ser estratégia mais efetiva do que a lavagem para remoção de resíduos já que há possibilidade de os agrotóxicos (principalmente os não sistêmicos) penetrar na cutícula e na camada de cera das cascas dos vegetais após serem aplicados, dificultando sua remoção apenas pela lavagem (Tabela 2).

Isso foi evidenciado em estudo com ethion em pepinos ¹¹. Por outro lado, para agrotóxicos sistêmicos (como o imidacloprid) a lavagem e o descascamento não são eficazes na remoção de resíduos por sua capacidade de penetração no tecido vegetal ⁸.

Como algumas frutas e hortaliças, apesar de terem casca fina, são cobertas por uma camada cerosa, a adesão do agrotóxico, principalmente dos lipossolúveis nessa camada é favorecida enquanto a absorção pelo interior do vegetal é diminuída. Assim, o descascamento é a forma mais eficaz de redução dos resíduos ⁸.

O polimento do arroz pode levar a reduções significativas de resíduos de agrotóxicos como clorpirifós, carbosulfan, carbofuran e 3-hidroxicarbofuran. Isso pode ser explicado devido à natureza lipofílica das camadas removidas com o polimento (gérmen e casca), o que serve como barreira para a translocação dos resíduos para o interior do grão ¹².

Em tomates higienizados com água corrente por 10 min, não foram observadas reduções significativas na concentração de resíduos (38 e 35% de cyazofamid e CCIM, respectivamente). A remoção da pele, por outro lado, foi etapa importante para redução pronunciada dos resíduos, demonstrando a capacidade de adesão do agrotóxico e, portanto, a baixa eficácia da limpeza com água apenas ¹⁹.

A presença de resíduos na polpa ou em sucos, no entanto, é relativa à solubilidade do composto ativo. Quanto maior a solubilidade, maior é a absorção pela polpa do fruto ¹⁹.

O processamento para obtenção de conservas de pepino (pickles) em solução de NaCl (1 e 4%) e ácido acético (0,5 e 1%) foram efetivas para remoção de resíduos de agrotóxicos (mancozeb, carbaryl), sendo essa redução atribuída à hidrólise dos componentes ativos na solução ¹⁴.

Tratamento térmico e refrigeração

Os alimentos são comumente submetidos a operações como pasteurização, fervura e cocção, dependendo da natureza do vegetal, seja como parte da preparação para consumo ou para conservação ⁵. Essas operações podem levar à degradação térmica, hidrólise e volatilização dos agrotóxicos, podendo ser, portanto, efetivas na redução dos resíduos em alimentos.

Essas reações foram descritas em diferentes estudos, conforme apresentado na Tabela 3 ^{9, 10, 13, 20} e são fortemente dependentes das características físico-químicas do agrotóxico e do efeito da concentração ¹⁰.

No cozimento sob pressão o efeito da redução pode ser ainda mais pronunciado porque as temperaturas superiores à 100°C promovem volatilização, hidrólise e degradação térmica dos agrotóxicos ¹⁵.

No café, o processo de filtração se mostrou efetivo para a remoção total de resíduos de agrotóxicos, sendo esta remoção explicada pela decomposição térmica devido à aplicação de calor ¹³.

Outros estudos, demonstraram, no entanto, que apenas algumas substâncias são susceptíveis à degradação. No arroz, o tratamento térmico, como a cocção, por exemplo, pode ser eficaz para a degradação de certos componentes ativos, como o clorpirifós, mas não de seus metabólitos, como o TCP ¹².

Ao mesmo tempo, Amirahmadi et al.²⁵ não encontrou correlação entre propriedades físico-químicas de 42 agrotóxicos com as reduções observadas durante a cocção de arroz, ressaltando a necessidade de mais estudos para determinar os reais mecanismos envolvidos nessas variações e para melhor compreender o papel das técnicas sobre os metabólitos formados e suas consequências para a saúde.

Por outro lado, em alguns casos, o tratamento térmico, como a fervura, pode fortalecer a adsorção do agrotóxico no tecido vegetal, diminuindo sua solubilidade e, conseqüentemente, afetando a eficácia da técnica na redução de resíduos de agrotóxicos⁹.

O cozimento no vapor, por sua vez, pode aumentar os resíduos de agrotóxicos no alimento uma vez que não há contato do alimento com a água, eliminando assim o potencial de solubilização dele e o processo de cozimento pode levar à perda da umidade com conseqüente concentração de sólidos. Nesse caso, o tempo de exposição e a temperatura atingida parece não ser suficiente para promover a degradação térmica do agrotóxico²¹.

Também deve-se considerar o efeito da desidratação promovida por operações de cocção e fritura, que pode concentrar os resíduos^{9, 10}. O tomate aquecido a 100°C não promoveu redução significativa de pyridaben, pyrifenox e tralomethrin porque o tratamento térmico concentrou o produto em um fator de 1,9 – 3,0 com conseqüente perda de aproximadamente 50% de água^{10, 19}.

O efeito do armazenamento refrigerado, por sua vez, pode ser atribuído à taxa de degradação dos componentes ativos do agrotóxico. Apesar da degradação ficar mais lenta à medida que a temperatura diminui, as pequenas reduções encontradas nos estudos podem ser atribuídas à degradação enzimática proporcionada pelo armazenamento, que seria mais acelerado em temperatura ambiente^{8, 11}.

Diante das evidências apresentadas, fica claro a importância do efeito cumulativo das técnicas, isto é, pela condução dessas diferentes estratégias simultaneamente, em geral o consumidor consegue reduzir de forma significativa muitos dos resíduos de agrotóxicos nos alimentos. Assim, a redução dos níveis residuais de agrotóxicos pelo processamento pode ser estratégia possível de ser estimulada nas políticas de promoção da saúde pública e de educação do consumidor¹⁴.

Cabe ressaltar que as evidências demonstram a eficácia dos procedimentos culinários domésticos basicamente sobre resíduos de agrotóxicos em alimentos de origem

vegetal uma vez que, por essas técnicas, dificilmente se consegue eliminar resíduos de agrotóxicos em alimentos de origem animal ⁶.

Por outro lado, deve-se considerar também que essas técnicas, se por um lado favorecem a segurança pela remoção de componentes potencialmente tóxicos e patogênicos, por outro, contribui para a remoção e/ou degradação de nutrientes e substâncias de interesse do ponto de vista nutricional, como fibras e antioxidantes como compostos fenólicos e carotenoides, cujas concentrações são expressivas nos alimentos de origem vegetal, particularmente nas cascas desses alimentos. Os antioxidantes são ainda termolábeis, e podem ser facilmente degradados quando submetidos a tratamentos térmicos intensos.

É importante destacar também que, mesmo com as reduções promovidas pelas operações de processamento domésticas, a presença residual em alimentos ainda pode oferecer risco ao consumidor já que nem sempre esses procedimentos conseguem atingir limites seguros para exposição do consumidor, principalmente quando os limites residuais permitidos são extrapolados e o período de carência não é cumprido.

Soma-se ainda o fato de que a própria exposição de baixas doses em longo prazo pode trazer riscos à saúde o que reforça a necessidade de se regulamentar com maior rigidez a venda e o uso desses produtos além do estímulo a práticas alternativas e sustentáveis.

Por isso, é importante que, além da orientação do consumidor, os agricultores sejam estimulados e regulamentados apropriadamente, visando a adesão de práticas agrícolas adequadas e sustentáveis. É sabido, neste contexto, que o controle biológico pode ser estratégia viável e eficaz para reduzir de forma expressiva a dependência por agrotóxicos. Estratégias de educação do agricultor podem servir de estímulo para que adotem essa prática de forma efetiva ⁴.

Além disso, o estímulo à produção de orgânicos, aumento do preço de agrotóxicos e o descarte de alimentos contaminados podem ser estratégias para acelerar essas transformações ⁴, ao mesmo tempo que o consumidor seja educado para fazer escolhas alimentares mais adequadas, seguras, saudáveis e sustentáveis.

Conclusão

A redução dos níveis residuais de agrotóxicos por técnicas de processamento doméstico como lavagem em água e soluções ácidas, alcalinas e detergentes,

descascamento, homogeneização e cocção, em geral, pode ser estratégia eficaz para redução de resíduos de agrotóxicos em alimentos de origem vegetal.

Dentre os principais mecanismos envolvidos nessas técnicas e que explicam essas reduções estão a solubilização, a hidrólise, a degradação térmica, a oxidação e a volatilização, sendo a efetividade de cada técnica variável, dependendo da natureza físico-química do agrotóxico, do alimento e das condições de processamento.

No entanto, em alguns casos, essas técnicas podem não ser eficazes. A cocção, por exemplo, além de levar a formação de metabólitos secundários de natureza desconhecida, pode promover a concentração do alimento pela remoção de água, fazendo com que os resíduos sejam concentrados no produto.

Deve-se considerar também que essas técnicas, se por um lado favorecem a segurança pela remoção de componentes potencialmente tóxicos e patogênicos, por outro, pode comprometer as características nutricionais e funcionais do produto, pela diminuição dos teores de fibras e antioxidantes, principalmente.

Mesmo com as reduções promovidas pelas operações de processamento domésticas, a presença residual em alimentos ainda pode oferecer risco ao consumidor já que nem sempre esses procedimentos conseguem atingir limites seguros para exposição do consumidor, principalmente quando os limites residuais permitidos são extrapolados e o período de carência não é cumprido.

Soma-se ainda o fato de que a própria exposição de baixas doses em longo prazo pode trazer riscos à saúde o que reforça a necessidade de se regulamentar com maior rigidez a venda e o uso desses produtos além do estímulo a práticas alternativas e sustentáveis.

Por fim, apesar dessas técnicas serem viáveis para o consumidor e ser alternativa de curto prazo para reduzir a sua exposição aos agrotóxicos, é essencial que os agricultores sejam estimulados e regulamentados apropriadamente, visando a adesão de práticas agrícolas adequadas e sustentáveis, capazes de fornecer alimentos para a população em quantidade e qualidade suficiente, garantindo assim os princípios da Segurança Alimentar e Nutricional e do Direito Humano à Alimentação Adequada.

Referências

1. Evangelou E, Ntritsos G, Chondrogiorgi M, Kavvoura FK, Hernández AF, Ntzani EE, et al. Exposure to pesticides and diabetes: A systematic review and meta-analysis. *Environ Int* 2016; 91: 60-8. doi: 10.1016/j.envint.2016.02.013.
2. Lopes CVA, Albuquerque GSC de. Agrotóxicos e seus impactos na saúde humana e ambiental: uma revisão sistemática. *Saúde Debate* 2018; 42(117): 518-34. doi: 10.1590/0103-1104201811714.
3. Kim KH, Kabir E, Jahan SA. Exposure to pesticides and the associated human health effects. *Sci Total Environ* 2017; 575: 525-535. doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.09.009.
4. Khaghani R, Mirhosseini MA, Fathipour Y. Household activities can reduce imidacloprid and abamectin residues in greenhouse crops. *J Agr Sci Tech* 2018; 20(4): 775-786.
5. Kaushik E, Dubey JK, Patyal SK, Katna S, Chauhan A, Devi N. Persistence of tetraniliprole and reduction in its residues by various culinary practices in tomato in India. *Environ Sci Pollut Res* 2019; 26: 22464–471. doi: 10.1007/s11356-019-04738-6.
6. Chung SW. How effective are common household preparations on removing pesticide residues from fruit and vegetables? A review. *J Sci Food Agric* 2018; 98(8):2857-70. doi: 10.1002/jsfa.8821.
7. Hassan H, Elsayed E, El-Raouf AERA, Salman SN. Method validation and evaluation of household processing on reduction of pesticide residues in tomato. *J Consum Prot Food Saf* 2019; 14: 31–39. Doi:10.1007/s00003-018-1197-2.
8. Hassanzadeh N, Bahramifar N. Residue content of chlorpyrifos applied to greenhouse cucumbers and its reduction during pre-harvest interval and post-harvest household processing. *JAST* 2019; 21(2): 381-391.
9. Kim SW, Al-Aty AM, Rahman M, Choi J-H, Lee Y-J, Ko A-Y, et al. The effect of household processing on the decline pattern of dimethomorph in pepper fruits and leaves. *Food Control* 2015; 50: 118-24. doi: 10.1016/j.foodcont.2014.08.023.
10. Kwon H, Kim TK, Hong SM, Se EK, Cho N-J, Kyung K-S. Effect of household processing on pesticide residues in field-sprayed tomatoes. *Food Sci Biotechnol* 2015; 24: 1–6. doi: 10.1007/s10068-015-0001-7.

11. Leili M, Pirmoghani A, Samadi MT, Shokoohi R, Roshanaei G, Poormohammadi A. Determination of pesticides residues in cucumbers grown in greenhouse and the effect of some procedures on their residues. *Iran J Public Health* 2016; 45(11): 1481-90.
12. Ma Y, Zhan L, Yang H, Qin M, Chai S, Cao Z et al. Dissipation of two field-incurred pesticides and three degradation products in rice (*Oryza sativa* L.) from harvest to dining table. *J Sci Food Agric* 2019; 99(10): 4602-4608. doi: 10.1002/jsfa.9699.
13. Mekonen S, Ambelu A, Spanoghe P. Effect of Household Coffee Processing on Pesticide Residues as a Means of Ensuring Consumers' Safety. *J Agric Food Chem* 2015; 63(38): 8568-73. doi: 10.1021/acs.jafc.5b03327.
14. Saeedi Saravi SS, Shokrzadeh M. Effects of washing, peeling, storage, and fermentation on residue contents of carbaryl and mancozeb in cucumbers grown in greenhouses. *Toxicol Ind Health* 2016; 32(6): 1135-42. doi: 10.1177/0748233714552295.
15. Shakoori A, Yazdanpanah H, Kobarfard F, Shojaee MH, Salamzadeh J. The Effects of House Cooking Process on Residue Concentrations of 41 Multi-Class Pesticides in Rice. *Iran J Pharm Res.* 2018 Spring;17(2):571-584. PMID: 29881415; PMCID: PMC5985175.
16. Sun C, Zeng L, Xu J, Zhong L, Han X, Chen L, Zhang Y, Hu D. Residual level of dimethachlon in rice-paddy field system and cooked rice determined by gas chromatography with electron capture detector. *Biomed Chromatogr* 2018; 32(7): e4226. doi: 10.1002/bmc.4226.
17. Watanabe M, Ueyama J, Ueno E, Ueda Y, Oda M, Umemura Y, et al. Effects of processing and cooking on the reduction of dinotefuran concentration in Japanese rice samples. *Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess* 2018; 35(7): 1316-23. doi: 10.1080/19440049.2018.1451659.
18. Wu Y, An Q, Li D, Wu J, Pan C. Comparison of Different Home/Commercial Washing Strategies for Ten Typical Pesticide Residue Removal Effects in Kumquat, Spinach and Cucumber. *Int J Environ Res Public Health* 2019; 16(3): 472. doi: 10.3390/ijerph16030472.
19. Yang Q, Liu N, Zhang S, Wang W, Zou Y, Gu Z. The dissipation of cyazofamid and its main metabolite CCIM during tomato growth and tomato paste making

- process. *Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess* 2019; 36(9): 1327-36. doi: 10.1080/19440049.2019.1626999.
20. Chen Z, Song S, Mao L, Wei J, Li Y, Tan H, Li X. Determinations of dinotefuran and metabolite levels before and after household coffee processing in coffee beans using solid-phase extraction coupled with liquid chromatography-tandem mass spectrometry. *J Sci Food Agric* 2019; 99(3): 1267-74. doi: 10.1002/jsfa.9300.
21. Hanafi A, Elsheshetawy HE, Faied SF. Reduction of pesticides residues on okra fruits by different processing treatments. *J. Verbr. Lebensm.* 2016; 11: 337–343.
22. Global Environment Monitoring System – Food Contamination Monitoring and Assessment Programme (GEMS/Food) in collaboration with Codex Committee on Pesticide Residues. Guidelines for predicting dietary intake of pesticide residues; 1997.
23. Mekonen S, Ambelu A, Spanoghe P. Reduction of pesticide residues from teff (*Eragrostis tef*) flour spiked with selected pesticides using household food processing steps. *Heliyon*. 2019 May 23;5(5):e01740. doi: 10.1016/j.heliyon.2019.e01740.
24. Han JI, Fang P, Xu XM, Li-Zheng XJ, Shen HT, Ren YP. Study of the pesticides distribution in peel, pulp and paper bag and the safety of pear bagging. *Food Control* 2015; 54: 338-346.
25. Amirahmadi M, Kobarfard F, Pirali-Hamedani M, Yazdanpanah H, Rastegar H, Shoeibi S, et al. Effect of Iranian traditional cooking on fate of pesticides in white rice, *Toxin Reviews* 2017; 36:3, 177-186. doi: 10.1080/15569543.2017.1301956
26. Figueiredo V., Miranda J., Colares L., Carvalho J., Castro I., Carvalho L. Organophosphorus pesticides residues in cooked capsicum annum. *Italian Assoc Chem Eng* 2015; 44: 241-246. doi: 10.3303/CET1544041.

Tabela 1. Efeito de técnicas de limpeza e imersão em água e/ou soluções ácidas, alcalinas e salinas sobre resíduos de agrotóxicos em alimentos de origem vegetal.

Agrotóxico	Alimento	Tratamento	Redução	Referência
Metalaxil, Clorpirifós	Tomate	Imersão em água potável por 10 min	19% - 34%	7
		Limpeza com solução de bicarbonato de sódio 1% por 10 min	2% - 41%	
		Limpeza com solução de ácido acético 4%	10% - 39%	
		Limpeza com H ₂ O ₂ 1%	4% - 45%	
Clorpirifós	Pepino	Limpeza em água corrente	100%	8
Tetraniliprole	Tomate	Limpeza em água potável corrente por 2 min	37%	5
		Limpeza em água potável corrente morna (50°C) por 5 min	44%	
		Imersão em solução salina NaCl 2% por 5 min seguido por enxague em água corrente	61%	
Imidacloprida	Pepino	Imersão em água potável (5 horas)	47%	4
Imidacloprida	Tomate	Imersão em água potável (5 horas)	25%	4
Dimethomorph	Pimenta	Imersão e limpeza em água destilada	32 - 54%	9
Chlorothalonil, Oxadixyl, Thiophanate- methyl	Tomate	Limpeza em água corrente	52 - 92%	10

Agrotóxico	Alimento	Tratamento	Redução	Referência
Ethion, Imidcloprid	Pepino	Limpeza em água potável corrente	42 - 51%	11
Clorpirifós, TCP	Arroz	Limpeza em água potável corrente por 1 min	36 - 55%	12
Endosulfan, Clorpirifós, Permetrina, Cipermetrina, Deltametrina, DDE, DDT e seus metabólitos e isômeros	Café, grão	Limpeza em água potável corrente por 5 min	14 - 57%	13
Mancozeb, Carbaryl	Pepino	Limpeza em água potável corrente Limpeza com detergente	37 - 41% 52 - 54%	14
41 resíduos de agrotóxicos	Arroz	Limpeza em água potável corrente	12 - 88%	15
Dimethachlon	Arroz integral	Limpeza em água potável corrente + cozimento	96,5 - 97,2%	16
Dinotefuran	Arroz integral	Limpeza em água potável corrente	60,80%	17
10 resíduos de agrotóxicos	Pepino	Limpeza em água potável corrente Limpeza em solução bicarbonato de sódio 2% Limpeza em água eletrolisada alcalina pH 10,50	13 - 33% 7 - 58% 8 - 56%	18

Agrotóxico	Alimento	Tratamento	Redução	Referência
		Limpeza em água eletrolisada alcalina pH 12,35	9 - 70%	
		Limpeza em água ozonizada	9 - 52%	
		Limpeza em solução microcalcificada	15 - 83%	
		Limpeza em água oxigenada 2%	12 - 63%	
10 resíduos de agrotóxicos	Espinafre	Limpeza em água potável corrente	4 - 42%	18
		Limpeza em solução bicarbonato de sódio 2%	18 - 74%	
		Limpeza em água eletrolisada alcalina pH 10,50	10 - 59%	
		Limpeza em água eletrolisada alcalina pH 12,35	17 - 52%	
		Limpeza em água ozonizada	14 - 78%	
		Limpeza em solução microcalcificada	19 - 63%	
		Limpeza em água oxigenada 2%	31 - 81%	
Cyazofamid	Tomate	Limpeza em água potável corrente	87,6%	19
Dinotefuran e metabólitos	Café, grão	Limpeza em água corrente	44 - 78%	20
Indoxacarb, Fenarimol,	Quiabo	Limpeza em água corrente, fervura e cozimento	0,7 - 6,6%	21

Agrotóxico	Alimento	Tratamento	Redução	Referência
Acetamiprid, Chlorfenapyr		Limpeza em água corrente, vaporização e cozimento	0,6 - 6,9%	
		Limpeza em água corrente, fervura com agentes químicos e cozimento	0,7 - 6,9%	

Tabela 2. Efeito de técnicas culinárias como descascamento, homogeneização e processamento sobre resíduos de agrotóxicos em alimentos de origem vegetal.

Agrotóxico	Alimento	Tratamento	Redução	Referência
Metalaxil, Clorpirifós	Tomate	Obtenção de suco	66% - 98%	7
		Obtenção de extrato	49% - 81%	
Clorpirifós	Pepino	Descascamento	100%	8
Chlorothalonil, Oxadixyl, Thiophanate-methyl	Tomate	Descascamento	60 - 96%	10
		Obtenção de suco	46 - 99%	
		Obtenção de purê	33 - 100%	
Ethion, Imidcloprid	Pepino	Descascamento	63 - 93%	11
Clorpirifós, TCP	Arroz	Descascamento	28 - 49%	12
		Polimento	35 - 52%	
Permetrina, Cipermetrina, Deltametrina, Clorpirifós, DDE, DDD, DDT	Painço, farinha	Fermentação	60 - 86%	23
Mancozeb, Carbaryl	Pepino	Descascamento	56 - 63%	14
		Conserva e fermentação (picles)	88 - 91%	
Dimethachlon	Arroz integral	Polimento	36,3 - 38,5%	16
Dinotefuran	Arroz integral	Polimento	74,70%	17
Cyazofamid	Tomate	Obtenção de polpa	91,7%	19
		Obtenção de purê	91,9%	
		Obtenção de suco	85,6%	
		Obtenção de extrato	93,8%	
26 resíduos de agrotóxicos	Pêra	Descascamento	100%	24

Tabela 3. Efeito de técnicas culinárias envolvendo calor ou refrigeração sobre resíduos de agrotóxicos em alimentos de origem vegetal.

Agrotóxico	Alimento	Tratamento	Redução	Referência
Clorpirifós	Pepino	Refrigeração	50%	8
Tetranilprole	Tomate	Fervura por 10 - 15 min	72%	5
		Cozimento em microondas - 5 min a 500 W	81%	
Imidacloprida	Pepino	Refrigeração (48 horas)	66%	4
		Refrigeração + imersão em água	91%	
Imidacloprida	Tomate	Refrigeração (48 horas)	41%	4
		Refrigeração + imersão em água	60%	
Dimethomorph	Pimenta	Fervura 100°C por 1 min	75 - 90%	9
		Fritura por imersão 140°C por 1 min	28%	
Clorpirifós, TCP	Arroz	Cocção	74 - 81%	12
Endosulfan, Clorpirifós, Permetrina, Cipermetrina, Deltametrina, DDE, DDT e seus metabólitos e isômeros	Café, grão	Torra	72 - 99%	13
		Infusão	100%	
Permetrina, Cipermetrina, Deltametrina,	Painço, farinha	Cocção (forno)	63 - 90%	23

Agrotóxico	Alimento	Tratamento	Redução	Referência
Clorpirifós, DDE, DDD, DDT				
41 resíduos de agrotóxicos	Arroz	Cozimento	20 - 100%	15
Dimethachlon	Arroz integral	Polimento	36,3 - 38,5%	16
		Limpeza em água potável corrente + cozimento	96,5 - 97,2%	
Dinotefuran	Arroz integral	Cozimento	39,60%	17
42 resíduos de agrotóxicos e metabólitos	Arroz	Cozimento 65 min T = 100 - 105°C	22 - 99,3%	25
Dinotefuran e metabólitos	Café, grão	Torra	62 - 85%	20
		Infusão/filtração	87 - 96%	
11 resíduos de agrotóxicos	Pimentão	Cozimento 15 a 60 min T = 100°C	4 - 70,3%	26

TERCEIRA PARTE - MATERIAL DIDÁTICO





Teste seus conhecimentos

Antes de começar, vamos avaliar seus conhecimentos e opiniões sobre o uso de agrotóxicos na produção de alimentos?

- 1 Como você mede a relação de risco x benefício na utilização de agrotóxicos na produção de alimentos?
 - Benefícios dos agrotóxicos superam riscos associados ao seu uso
 - Riscos dos agrotóxicos superam benefícios associados ao seu uso
 - Benefícios dos agrotóxicos igualam riscos associados ao seu uso
- 2 Além de eliminar pragas, os agrotóxicos causam impactos ambientais?
 - Sim
 - Não
 - Não sei
- 3 Se sim, quais seriam esses impactos?
 - Contaminação de lençóis freáticos
 - Redução da fertilidade do solo
 - Eliminação de agentes polinizadores
 - Desequilíbrio ecológico
- 4 Os alimentos, sejam eles de origem animal ou vegetal, *in natura* ou industrializados, podem estar sujeitos à contaminação com resíduos de agrotóxicos?
 - Sim
 - Não
 - Não sei
- 5 Você procura saber informações sobre a origem dos alimentos que consome?
 - Sim
 - Não
- 6 Se sim, como você obtém essas informações?
 - Diretamente do produtor
 - Diretamente do comerciante
 - Através de familiares e amigos
 - Outro _____
- 7 Você acha que pode tomar mais iniciativas quanto a isso?
 - Sim
 - Não
- 8 Você acha que sua participação é importante na cobrança por regulamentações e fiscalizações que tratam do uso e controle de agrotóxicos?
 - Sim
 - Não
- 9 A ingestão de alimentos contaminados por resíduos de agrotóxicos pode ser prejudicial à sua saúde?
 - Sim
 - Não
 - Não sei
- 10 Se sim, quais seriam esses efeitos?
 - Danos neurológicos
 - Alergias
 - Distúrbios comportamentais
 - Câncer
- 11 Você conhece os alimentos que mais apresentam irregularidades no teor de resíduos de agrotóxicos no Brasil?
 - Sim
 - Não
- 12 Você evita comprar alimentos quando sabe que apresentam elevado teor de resíduos de agrotóxicos?
 - Sim
 - Não
- 13 Você dá preferência pela compra de alimentos orgânicos?
 - Sim
 - Não
- 14 As técnicas de preparo de alimentos, como lavagem, descascamento e cocção, podem reduzir a quantidade de resíduos de agrotóxicos dos alimentos?
 - Sim
 - Não
 - Não sei



Produtos utilizados na agricultura para eliminar insetos, plantas daninhas, fungos, roedores, bactérias entre outros organismos que causam doenças nas plantas e estão presentes na produção da maioria dos alimentos que consumimos hoje.

AGROTÓXICOS NO BRASIL



A utilização em massa de agrotóxicos na agricultura se inicia na década de 1950, nos Estados Unidos, com a chamada 'Revolução Verde', que teria o intuito de modernizar a agricultura e aumentar sua produtividade.

No Brasil, esse movimento chega na década de 1960 e, com a implantação do **Programa Nacional de Defensivos Agrícolas (PNDA)**, ganha impulso na década de 1970. O programa vinculava a utilização dessas substâncias à **concessão de créditos agrícolas**, sendo o Estado um dos principais incentivadores dessa prática.

Ainda hoje o país ainda possui políticas públicas que fomentam o uso e o comércio de agrotóxicos, o que o coloca também como um dos maiores consumidores desses insumos. O Estado brasileiro deixa de arrecadar cerca de R\$ R\$ 10 bilhões por ano com isenções fiscais concedidas às empresas produtoras e comercializadoras de agrotóxicos, especialmente pela desoneração do ICMS (63,1%).

Apesar do uso de agrotóxico por área de cultivo no Brasil não ser um dos maiores, ficando atrás de países

como Japão, China e alguns países da União Europeia e América Latina, o país é líder quando se compara o valor investido em agrotóxicos, segundo dados da Phillips McDougall (2013).

Os dados de 2013 indicam, que o Brasil foi o país que mais gastou com agrotóxicos no mundo: US\$ 10 bilhões. Estados Unidos, China, Japão e França ficaram, respectivamente, nas posições seguintes.

Isso significa que o modelo de agricultura que prevalece no Brasil hoje está baseado principalmente em dois pilares: **latifúndio e monocultivo**.

Assim, nosso sistema de produção de alimentos é dependente de **fertilizantes químicos, sementes híbridas ou transgênicos, maquinários pesados e, principalmente, agrotóxicos**.

Como a agricultura se torna cada vez mais dependente dos agrotóxicos e com isso, as consequências para a saúde das pessoas e para o meio ambiente também se multiplicam.

O MODELO DE PRODUÇÃO DE ALIMENTOS ATUAL É EFICAZ EM GARANTIR O ACESSO À ALIMENTAÇÃO SEGURA PELA POPULAÇÃO?

AGROTÓXICOS = ↑ PRODUÇÃO DE ALIMENTOS...
MAS, A QUANTIDADE DE ALIMENTOS PRODUZIDA É O MAIOR PROBLEMA?



Fonte: Willett e colaboradores (2019); Pignati e colaboradores (2017); FAO (2017)

Um dos maiores desafios para a humanidade nos últimos tempos, é a produção de alimentos seguros e em quantidades suficientes para uma população em plena expansão.

Dentro do modelo agrícola de produção, os agrotóxicos são considerados indispensáveis, principalmente em climas favoráveis ao desenvolvimento de pragas (como o clima tropical do Brasil).

Assim, **o uso de agrotóxicos se justifica por ele contribuir para o aumento da produtividade** nas lavouras, permitindo assim o aumento da produção sem expansão de áreas e a produção em larga escala.

De fato, as mudanças nas práticas agrícolas das últimas décadas aumentaram a capacidade de fornecimento de alimentos para as pessoas por meio do aumento da produtividade e diminuição da dependência sazonal.

A disponibilidade e o processamento de alimentos também aumentaram como consequência do aumento do poder aquisitivo da população, diminuição dos preços dos produtos, os quais contribuíram expressivamente para alterar os padrões de consumo de alimentos.

No entanto, a **(In)Segurança Alimentar e Nutricional não é resultado apenas de baixa produtividade agrícola** mas, predominantemente, das **dimensões socioeconômicas e políticas** envolvidas nessa dinâmica que, na maioria das vezes, não garantem acesso aos alimentos em quantidade e qualidade suficiente pela população pela sua abordagem reducionista, focada unicamente na **maximização da produção e, conseqüentemente dos lucros**.

Existe também o problema de que boa parte do que se produz nas terras agrícolas atualmente não é efetivamente alimento que vai compor diretamente a mesa do consumidor, mas sim grãos, cujo principal destino é a pecuária como componentes de ração animal e alimentos industrializados ultraprocessados.

Assim, as práticas alimentares baseadas em **elevado consumo de carne, ao lado de alimentos ultraprocessados**, por quase todos os povos, tem levado a um aumento acelerado da obesidade e da incidência de doenças crônicas não transmissíveis concomitantemente à desnutrição, objetivos muito distantes do preconizado pelos órgãos de saúde pública ao tratar de Segurança Alimentar e Nutricional.

CONSEQUÊNCIAS PARA O MEIO AMBIENTE



Fonte: Robson e Hamilton (2010); Schreinemacher e Típraça (2012); Almeida e colaboradores (2017)

O próprio mecanismo que define a aplicação do agrotóxico é o que determina seus impactos ambientais, sobretudo sobre a diversidade. Isso porque, no sentido agrônomo, uma praga é qualquer espécie ou organismo que ameace a saúde e o bem-estar de uma cultura agrícola.

No entanto, **a maioria das pragas se encaixa em nichos ecológicos específicos** e tem funções importantes para a integridade dos ecossistemas, inclusive quando não são diretamente úteis aos humanos. Assim, uma praga raramente é só uma praga.

De fato, os estudos têm demonstrado o desequilíbrio ambiental ocasionado pelo uso de agrotóxicos, podendo **contaminar o solo, a água, e vegetações**. Além de eliminar agentes patogênicos, os agrotóxicos podem ser tóxicos para uma série de outros organismos, incluindo pássaros, peixes, insetos e plantas não-alvo.

Os inseticidas geralmente são a classe de agrotóxicos mais tóxicos, mas os herbicidas também podem representar riscos para os organismos não-alvo.

Os agrotóxicos promovem também o desenvolvimento da capacidade de **resistência das pragas agrícolas** a estes produtos, levando à necessidade de aumentar as doses aplicadas ou recorrer a novos produtos, tem proporcionado o surgimento de novas pragas e impactando sobre comunidades de insetos controladores de vetores de doenças.

Intrinsecamente, há também o problema do próprio modelo do agronegócio, que pelo predomínio das grandes monoculturas, contribui progressivamente para a **perda da biodiversidade e limitação de variedades de alimentos** disponíveis ao consumidor.

Com boa parte do que é cultivado não sendo destinada para fins de alimentar diretamente a população, esse modelo vem causando rápida e intensa mudança no uso da terra, aumentando o desmatamento e produzindo impactos ambientais sobre a fauna, flora, solo, água e ar, com consequente redução da biodiversidade.

CONSEQUÊNCIAS PARA A SAÚDE

Efeitos do consumo de alimentos contaminados em longo prazo



- Danos neurológicos
- Déficits comportamentais
- Alergias
- Asma
- Lesão hepática
- Lesão renal
- Câncer
- Distúrbios hormonais



Fonte: INCA (2019); Pallota e colaboradores (2017); Savy e colaboradores (2018); Tewari e colaboradores (2018); Peris-Sampedro e colaboradores (2015)

Na literatura científica, há muitas evidências sobre as consequências dos agrotóxicos sobre a saúde da população, principalmente nos trabalhadores e comunidades rurais, quando expostos a **doses agudas**.

De fato, os agricultores constituem o grupo de maior risco aos efeitos adversos de agrotóxicos, assim como moradores de áreas próximas aos campos de aplicação também estão sujeitos à exposição direta e intensiva desses produtos, principalmente em regiões que recebem a aplicação aérea.

Mas é importante ressaltar que todas as pessoas são inevitavelmente expostas aos agrotóxicos através da contaminação ambiental ou dos alimentos, o que chamamos de **exposição crônica**.

A população em geral está exposta aos **resíduos de agrotóxicos**, incluindo os produtos de degradação físicos e biológicos no ar, água e alimentos.

A ingestão de alimentos contaminados por resíduos de agrotóxicos é considerada rota primária de exposição.

Além dos alimentos in natura e minimamente processados de origem vegetal e animal, como leite e carnes frescas, é importante destacar que **os resíduos dos agrotóxicos também podem estar presentes nos alimentos ultraprocessados** que têm como ingredientes o trigo, o milho, a cana-de-açúcar e a soja, por exemplo.

No que se refere especificamente aos riscos para a saúde humana, o Instituto Nacional do Câncer (INCA), por exemplo, já alertou a sociedade brasileira para o fato de que, considerando o potencial cancerígeno (em longo prazo) e intoxicante (em curto prazo), **a atitude mais adequada é não utilizar agrotóxicos**.

Isso pode estar associado à doenças cada vez mais presentes na população, em especial as Doenças Crônicas Não Transmissíveis (DCNTs) como diabetes, doenças do coração, cânceres, que até então, são muito pouco associadas ao consumo de alimentos contaminados com resíduos de agrotóxicos ao longo da vida.

AGROTÓXICOS EM ALIMENTOS

No Brasil, funciona o Programa de Análise de Resíduos de Agrotóxicos em Alimentos (PARA). O programa foi criado em 2001 com o objetivo de avaliar continuamente os níveis de resíduos de agrotóxicos em alimentos de origem vegetal consumidos no país.

Em dezembro de 2019 foi divulgado o último relatório pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), referente a dados de 2017 e 2018.

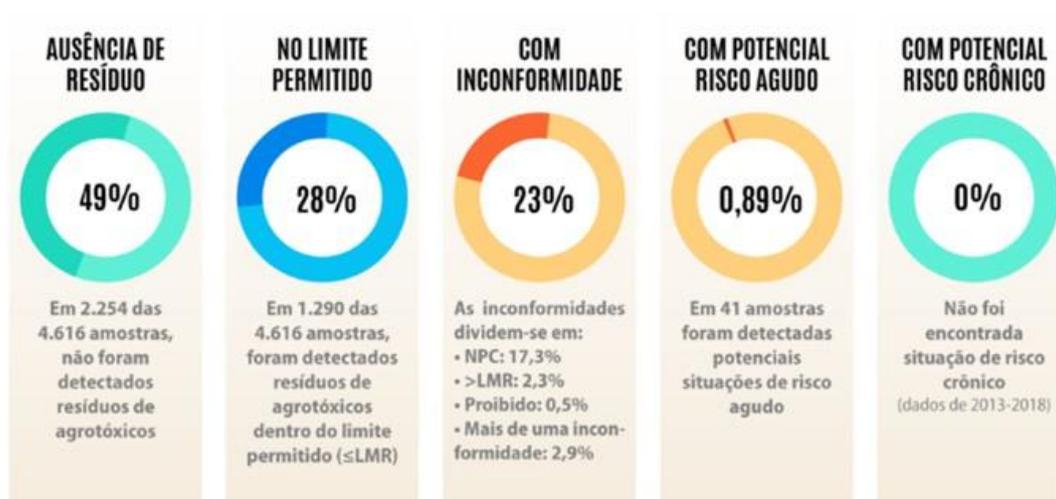
Ao todo, foram analisadas 4.616 amostras de 14 alimentos: abacaxi, alface, arroz, alho, batata-doce, beterraba, cenoura, chuchu, goiaba, laranja, manga, pimentão, tomate e uva e 51,0 % dessas amostras apresentaram resíduos de agrotóxicos.

Desses, cinco apresentaram amostras com possibilidade de risco agudo: abacaxi, batata-doce, goiaba, laranja e uva.

A laranja foi o alimento com o maior número de amostras em que foi detectado risco agudo, com um total de 27 amostras entre 382 analisadas, principalmente por causa do agrotóxico carbofurano.

O programa no Brasil, porém, considerou amostras de apenas 14 tipos de alimentos de origem vegetal, desconsiderando assim grande parte da variedade de alimentos consumida no país, além dos minimamente processados, processados e ultraprocessados de origem vegetal ou não, o que nitidamente subestima a real exposição do consumidor aos resíduos de agrotóxicos em alimentos.

Principais resultados do Programa de Análise de Resíduos de Agrotóxicos em Alimentos da ANVISA (2019)



Fonte: portal.anvisa.gov.br

POR QUE O BRASIL PRECISA DE LEIS PARA REDUÇÃO DE AGROTÓXICOS?

Apesar do aumento do consumo de agrotóxicos no Brasil e a correspondente elevação dos níveis de contaminação ambiental e de exposição humana, não houve aumento proporcional das ações de fiscalização e de controle para assegurar a proteção do ambiente e das populações expostas.

Enquanto nota-se a tendência dos países em ser cada vez mais restritivos aos agrotóxicos, no Brasil a bancada ruralista tem representado os interesses do agronegócio nos espaços decisórios do governo e atua sistematicamente para a flexibilização das leis e normas referentes aos agrotóxicos, como é o caso do Projeto de Lei (PL) 6.299/2002, que ficou conhecido como "Pacote do Veneno".

Por outro lado, a crescente consciência da população em relação aos perigos dos agrotóxicos resultou, em 2012, no lançamento da Política Nacional de Agroecologia e Produção Orgânica. Construída com intenso diálogo e

participação da sociedade civil, esta política viu rapidamente nos agrotóxicos um forte limite para a promoção da agroecologia.

Nesta perspectiva, na época foi constituído pelo governo, com participação da sociedade, um Grupo de Trabalho responsável pela elaboração de uma proposta para reduzir as facilidades para produção, importação, registro e uso de agrotóxicos no Brasil. Assim nasceu o Programa Nacional de Redução de Agrotóxicos (Pronara), que propõe ações concretas em todos os pontos da cadeia dos agrotóxicos.

Em 2016 o Pronara foi convertido no Projeto de Lei 6.670/2016, que institui a Política Nacional de Redução de Agrotóxicos - a PNARA — que em 2018 foi aprovada na Comissão Especial da Câmara Federal e hoje se encontra pronta para votação em plenário, assim como o "Pacote do Veneno".

Conheça os principais pontos dessas duas propostas



PL 6.299/2002

- Alteração do nome "agrotóxico" para pesticida;
- Possibilidade de liberação de produtos pelo MAPA (emissão de registro temporário) mesmo se os demais órgãos reguladores não tiverem concluído as análises;
- Registro de substâncias após análise de risco que aponte possíveis doses seguras e não a identificação do perigo em causar efeitos teratogênicos, carcinogênicos, mutagênicos, distúrbios hormonais e danos ao aparelho reprodutor, por exemplo, que atualmente é suficiente para que o produto seja proibido pelos órgãos reguladores;
- Possibilidade de venda de algumas substâncias sem receituário agrônomo;
- Poderes estaduais e municipais diminuídos, com centralização do poder na esfera federal;
- Fim da regulação da propaganda, tornando não obrigatória a advertência sobre os riscos do produto;
- Registros de agrotóxicos genéricos sob responsabilidade exclusiva do Ministério da Agricultura, como forma de agilizar os processos, incentivar a concorrência no setor e reduzir custos.



PNARA

- Estímulo aos Sistemas de Produção e Tecnologias Agropecuárias (SPTAS);
- Remoção de subsídios e de benefícios tributários para a utilização de agrotóxicos;
- Incentivo às compras governamentais de alimentos oriundos de sistemas orgânicos de produção sem agrotóxico, de base orgânica ou agroecológica;
- Estipulação de metas para redução de área plantada e de agrotóxicos, dos casos de intoxicação, dos níveis de resíduos entre outras;
- Ampliação gradativa de produtos orgânicos no Programa de Aquisição de Alimentos (PAA) e no Programa Nacional de Alimentação Escolar (PNAE);
- Incentivo econômico superior a 20% aos produtos agroecológicos nas demais compras do governo federal;
- Vedação de procedimentos por parte das instituições financeiras que vinculem ou induzam a utilização de pacotes tecnológicos baseados em produtos agroquímicos na contratação do crédito rural oficial e do seguro rural;
- Aprimoramento do Programa de Análise de Resíduos de Agrotóxicos em Alimentos — PARA;
- Avaliação periódica de agrotóxicos ao menos a cada 10 anos.

ALTERNATIVAS AGRONÔMICAS

As consequências e preocupações em torno do uso de agrotóxicos, têm levado ao desenvolvimento de novas formas de combate a pragas, como o **Manejo Integrado de Pragas**, um enfoque que utiliza diversas técnicas de controle para manter, ou administrar, a população de pragas em níveis inferiores aos que provocam dano econômico, ao mesmo tempo que garantam a qualidade do ambiente e protejam a saúde humana.

É importante, porém, que essas alternativas sejam acompanhadas por esforços institucionais de promoção e divulgação dessas experiências para a construção de uma sociedade mais saudável e sustentável. Abre-se também espaço para demonstrar que o avanço da **agroecologia** deve fazer parte das ações intersetoriais voltadas para a promoção da saúde, abrangendo os territórios onde vivem e trabalham as pessoas.



O **Guia Alimentar para a População Brasileira** publicado em 2014 se coloca como instrumento importante para apoiar e incentivar **práticas alimentares saudáveis e sustentáveis** em âmbito individual e coletivo, bem como para subsidiar políticas, programas e ações que visem a incentivar, apoiar, proteger e promover a saúde e a **segurança alimentar e nutricional da população**.

Em uma de suas orientações, a alimentação adequada e saudável é colocada como aquela derivada de **sistema alimentar socialmente e ambientalmente sustentável** que diverge do modelo convencional predominante atualmente, principalmente no que se refere às técnicas de cultivo, uso de fertilizantes, controle biológico, conservação e biodiversidade do meio ambiente, capilaridade do mercado e distanciamento do consumidor.

A **agricultura orgânica** é uma outra opção, que tem recebido, cada vez mais, adesão de consumidores, juntamente com os alimentos in natura e minimamente processados, além de redução no consumo de carne.

Importante considerar também não apenas a relevância nutricional de alimentos orgânicos, mas também, sua **representação social, econômica, política, ambiental e cultural**, indo de encontro às recomendações e orientações dadas pelos principais órgãos e entidades voltadas para a saúde pública mundial, principalmente no que se refere a adoção e manutenção de práticas alimentares sustentáveis.



AGRICULTURA ORGÂNICA

Os alimentos orgânicos têm ganhado cada vez mais interesse pelo consumidor, o que tem impulsionado seu comércio e consumo. Em partes, o aumento dessa demanda se justifica pelo fato de que os alimentos orgânicos são percebidos pelos consumidores como alimentos mais saudáveis, diante das formas pelos quais são produzidos.

No cultivo orgânico, não se utiliza agentes químicos sintéticos como fertilizantes ou agrotóxicos. Apenas compostos de origem natural são permitidos e seus usos são monitorados rigorosamente, enfatizando as **tecnologias sustentáveis**, a rotação de culturas e métodos alternativos para seleção de linhagens mais resistentes.

A agricultura convencional, por outro lado, se sustenta em monoculturas cultivadas em grandes extensões territoriais e depende fortemente do uso de agrotóxicos

sintéticos e fertilizantes minerais, bem como de outros insumos agrícolas para controlar o crescimento dos vegetais.

Assim, o modelo agrícola convencional contrapõe os quatro princípios da agricultura orgânica, formulados pelo *International Federation of Organic Agriculture Movements* (IFOAM): **saúde, ecologia, justiça e cuidado**. Esses aspectos podem colocar a agricultura orgânica em posição de favorecer a biodiversidade de culturas e a saúde ambiental e humana, sendo, portanto, vista como mais sustentável e saudável pela população.

Além da menor contaminação por resíduos de agrotóxicos e metais pesados, alimentos produzidos em sistemas de cultivo orgânico podem ser mais saudáveis pelo **perfil nutricional e de antioxidantes mais favorável**



mapa de feiras orgânicas

MAPA RECEITAS BIBLIOTECA

Buscar no mapa...

ZOOM EM SUA REGIÃO
899 iniciativas

Centro-Oeste	73
Nordeste	206
Norte	41
Sudeste	350
Sul	229

Muitas pesquisas mostram que os consumidores prefeririam alimentos orgânicos se eles fossem mais baratos e se houvesse mais canais de comercialização próximos de suas residências. Porém, os dados de mercado mostram, por exemplo, que o preço de uma cesta de produtos orgânicos pode ser, em média, até 50% mais barato em feiras do que nos supermercados.

As feiras orgânicas são uma das principais formas adotadas pelos produtores e são vistas por eles como uma forma de possibilitar ao consumidor o acesso a produtos de maior qualidade.

Para te ajudar a encontrar as feiras mais próximas de você, o Instituto de Defesa do Consumidor (IDEC) disponibiliza uma ferramenta de busca de locais que vendem alimentos orgânicos.

Acesse pelo www.feirasorganicas.org.br.

O QUE VOCÊ PODE FAZER...

O **Guia Alimentar para a População Brasileira** de 2014 traz uma série de orientações para que possamos adotar uma **alimentação adequada, saudável e sustentável**. Em especial, o Guia chama a atenção para que a base da nossa alimentação seja alimentos in natura ou minimamente processados, ao mesmo tempo que se evite o consumo de alimentos **ultraprocessados**, além da **carne** em excesso.

Para isso, aí vai algumas recomendações:

- Faça compras em locais que ofertem variedade de alimentos in natura ou minimamente processados
- Dê preferência para legumes, verduras e frutas da estação, cultivadas localmente
- Sempre que possível, adquira alimentos orgânicos e de base agroecológica, de preferência diretamente dos produtores

Conheça algumas frutas e legumes de cada estação



Construído a partir dos dados disponibilizados em: Brasil(2016)

ALTERNATIVAS PARA REDUZIR A CARGA DE RESÍDUOS DE AGROTÓXICOS DOS ALIMENTOS QUE VOCÊ CONSUME...

Além de buscar por locais que ofertem variedade de alimentos *in natura* e minimamente processados, de preferência orgânicos ou de base agroecológica e adotar práticas alimentares saudáveis, evitando o consumo excessivo de carne e de alimentos ultraprocessados, existem algumas estratégias que você pode aplicar durante o preparo dos alimentos para reduzir a exposição aos resíduos de agrotóxicos.

Práticas culinárias na redução de resíduos de agrotóxicos dos alimentos

Lavagem

A lavagem com água corrente pode ser eficaz na remoção de alguns agrotóxicos solúveis não sistêmicos, isto é, cujo mecanismo de ação é pela superfície e não envolve a penetração no tecido vegetal. A utilização de soluções de limpeza como vinagre, bicarbonato de sódio, sal de cozinha e detergentes pode remover os resíduos de agrotóxicos com maior eficácia do que com água apenas. Quando essas soluções são utilizadas, os componentes ativos do agrotóxico sofrem reações químicas que desestabilizam sua molécula. Para melhor eficácia, recomenda-se a utilização dessas soluções em sequência para ampliar a variedade de resíduos removidos.



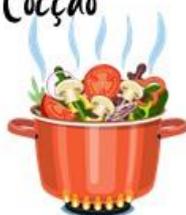
Deixar o alimento de molho por aproximadamente 10 minutos em cada uma das soluções e em seguida enxaguar em água corrente.

Descascamento

O descascamento pode ser estratégia mais efetiva do que a lavagem para remoção de resíduos já que há possibilidade de os agrotóxicos (principalmente os não sistêmicos) penetrar na cutícula e na camada de cera das cascas dos vegetais após serem aplicados, dificultando sua remoção apenas pela lavagem.



Cozido



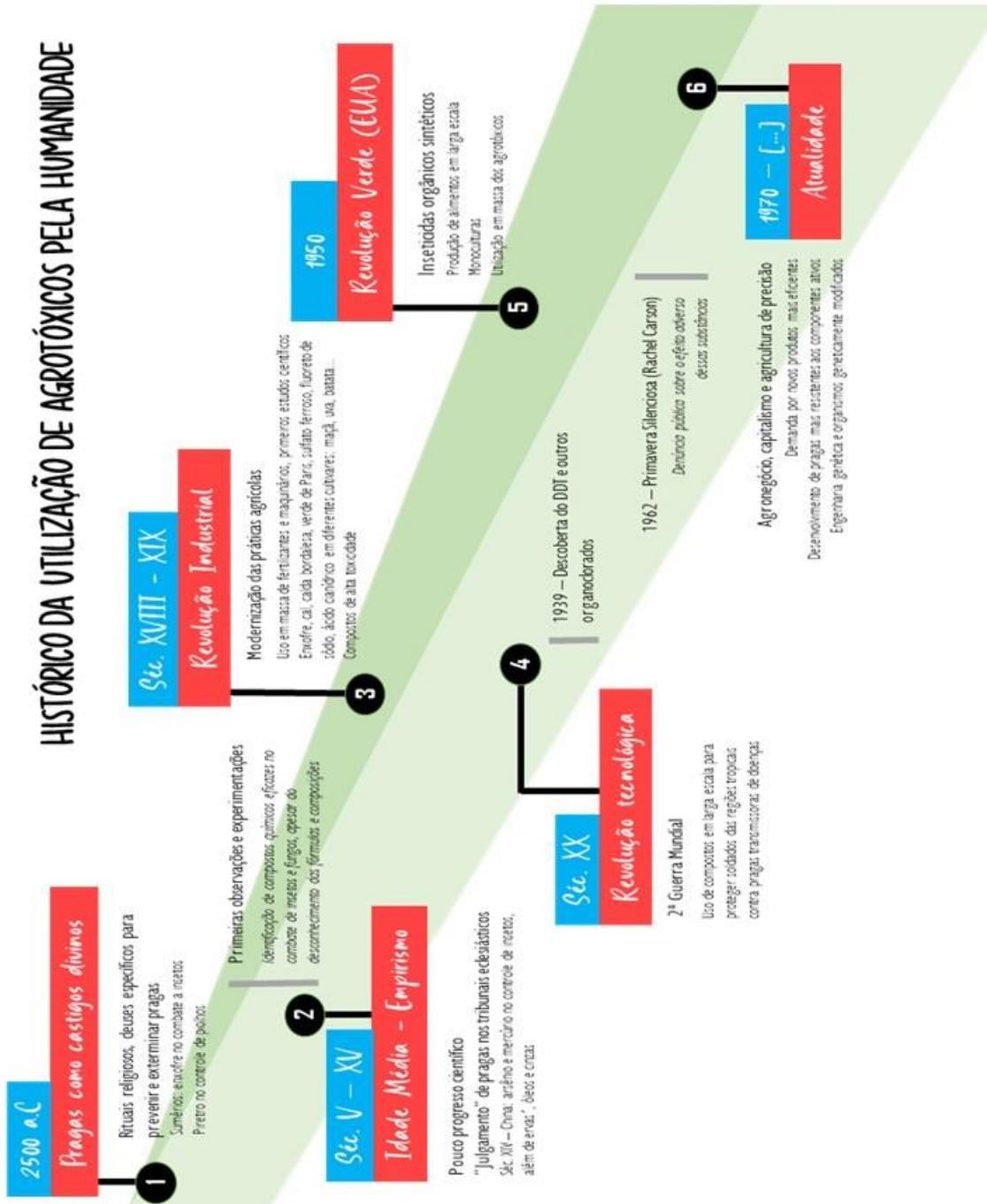
O cozimento, se por um lado contribui para a degradação dos componentes ativos dos agrotóxicos, pode por outro lado, levar a formação de compostos de natureza desconhecida, pode promover a concentração do alimento pela remoção de água, fazendo com que os resíduos também sejam concentrados no produto.

💡 Importante!

Essas técnicas nem sempre podem ser efetivas de forma a garantir a remoção completa ou redução a níveis seguros dos resíduos, principalmente quando estes resíduos estão acima dos limites máximos permitidos no alimento. A eficácia também é dependente da natureza do agrotóxico presente.

Fonte: Kaushik e colaboradores (2019); Chung (2018)

HISTÓRICO DA UTILIZAÇÃO DE AGROTÓXICOS PELA HUMANIDADE





Referências

- ALMEIDA, M. D.; CAVENDISH, T. A.; BUENO, P. C.; ERVILHA, I. C.; GREGORIO, L. D.; KANASHIRO, N. B. D.; DO CARMO, T. F. M. The flexibilization of the Brazilian legislation on pesticides and the risks to human health: analysis of Bill of Law 3,200/2015. *Cad Saude Publica*, 33(7), 2017.
- ANVISA. Programa de Análise de Resíduos de Agrotóxicos em Alimentos (PARA). Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br/>
- Brasil. Ministério da Saúde. Universidade Federal de Minas Gerais. Na cozinha com as frutas, legumes e verduras. Brasília: Ministério da Saúde, 2016.
- CHUNG S.W. How effective are common household preparations on removing pesticide residues from fruit and vegetables? A review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 98, n. 8, p. 2857–2870, 2108. doi:10.1002/jsfa.8821.
- FAO. 30% de toda a comida produzida no mundo vai parar no lixo. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/fao-30-de-toda-a-comida-produzida-no-mundo-vai-parar-no-lixo/>
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Agropecuário, Florestal e Aquícola 2017. Disponível em: <https://censos.ibge.gov.br/agro/2017/sobre-censo-agro-2017.html>
- IDEC. Mapa de Feiras Orgânicas. Disponível em: <https://feirasorganicas.org.br/>
- INCA – INSTITUTO NACIONAL DO CÂNCER. Agrotóxicos. 2019. Disponível em: <https://www.inca.gov.br/alimentacao/agrotoxicos>
- KAUSHIK, E.; DUBEY, J. K.; PATYAL, S. K.; KATNA, S. et al. Persistence of tetraniliprole and reduction in its residues by various culinary practices in tomato in India. *Environmental Science Pollutants Research International*, v. 26, n. 22, p. 22464-22471, 2019.
- PALLOTTA, M. M.; RONCA, R.; CAROTENUTO, R.; PORRECA, I. et al. Specific Effects of Chronic Dietary Exposure to Chlorpyrifos on Brain Gene Expression-A Mouse Study. *Int J Mol Sci*, 18, n. 11, Nov 20 2017.
- PERIS-SAMPEDRO, F.; BASAURE, P.; REVERTE, I.; CABRE, M. et al. Chronic exposure to chlorpyrifos triggered body weight increase and memory impairment depending on human apoE polymorphisms in a targeted replacement mouse model. *Physiol Behav*, 144, p. 37-45, May 15 2015.
- PIGNATI WA et al. Distribuição espacial do uso de agrotóxicos no Brasil: uma ferramenta para a Vigilância em Saúde. *Ciênc Saude Coletiva*. 2017;22(10):3281-3293.
- Por que o Brasil precisa de uma lei para redução de agrotóxicos? Campanha Permanente Contra os Agrotóxicos e pela Vida. Disponível em: <https://contraosagrototoxicos.org/>
- ROBSON, M.; HAMILTON, G. C. Control de Plagas y Pesticidas. In: FRUMKIM, H. (Ed.) *Salud Ambiental de lo global a lo Local*. Washington D.C.: Organización Panamericana de la Salud, 2010. p.593-632.
- SAWY, C. Y.; FITCHETT, A. E.; BLAIN, P. G.; MORRIS, C. M. et al. Gene expression analysis reveals chronic low level exposure to the pesticide diazinon affects psychological disorders gene sets in the adult rat. *Toxicology*, 393, p. 90-101, Jan 15 2018.
- SCHREINEMACHERS, P.; TIPRAQSA, P. Agricultural pesticides and land use intensification in high, middle and low income countries. *Food Policy*, 37, n. 6, p. 616-626.
- TEWARI, A.; BANGA, H. S.; GILL, J. Sublethal chronic effects of oral dietary exposure to deltamethrin in Swiss albino mice. *Toxicol Ind Health*, 34, n. 6, p. 423-432, Jun 2018.
- WILLETT, W.; ROCKSTRÖM, J.; LOKEN, B.; SPRINGMANN, M. et al. The Lancet Commissions Food in the Anthropocene: the EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. 2019.



Fique por dentro!

Na Internet, existem muitas fontes de informações sobre atualidades em torno dos agrotóxicos no âmbito da saúde e da alimentação... Seguem algumas recomendações e referências de leitura!

- Guia Alimentar para a População Brasileira (2014):
https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/guia_alimentar_populacao_brasileira_2ed.pdf
- De Olho nos Ruralistas – Observatório do Agronegócio no Brasil:
<https://deolhonosruralistas.com.br/>
- O Joio e o Trigo: <https://outraspalavras.net/ojoioeotrigo/blog/>
- Contra os agrotóxicos: <https://contraosagrototoxicos.org/>

AUTORIA

Rafaela Corrêa Pereira, Eng. De Alimentos, Professora IFMG— Campus Bambuí, Mestrado em Nutrição e Saúde, Departamento de Nutrição, UFLA, rafacpereira@gmail.com

ORIENTAÇÃO

Michel Cardoso de Angelis Pereira, Nutricionista, Professor Associado, Departamento de Nutrição, UFLA, deangelis@ufla.br

