EXPOSIÇÃO A PESTICIDAS E SEUS IMPACTOS NA SAÚDE HUMANA E MEIO AMBIENTE: REVISÃO DA LITERATURA

Maria Celeste Cardeal de Oliveira[1]

[1]*Instituto Adolfo Lutz, SãoPaulo, Brasil (maria.oliveira@ial.sp.gov.br)*

Resumo:
Esta revisão analisou os impactos dos pesticidas na saúde humana e no meio ambiente. Evidências científicas associam a exposição ocupacional, ambiental e alimentar a doenças como câncer, diabetes, alterações neurológicas e respiratórias. Os resultados destacam os efeitos cumulativos dos pesticidas e a necessidade de monitoramento toxicológico, políticas públicas e práticas agrícolas sustentáveis.

Palavras-chave: pesticidas; saúde humana; toxicologia; contaminação ambiental; exposição ocupacional.

INTRODUÇÃO

Os pesticidas desempenham papel fundamental na agricultura contemporânea, sendo amplamente utilizados para o controle de pragas, doenças e plantas invasoras, com o objetivo de aumentar a produtividade agrícola e reduzir perdas econômicas. Entretanto, o uso intensivo dessas substâncias tem despertado crescente preocupação científica devido aos seus impactos sobre a saúde humana e o meio ambiente. Nas últimas décadas, diversos estudos têm demonstrado associação entre a exposição a pesticidas e o desenvolvimento de doenças crônicas, incluindo câncer, distúrbios neurológicos, alterações endócrinas, doenças respiratórias e problemas reprodutivos (Kim et al., 2017; Nicopoulou-Stamati et al., 2016).

Além da exposição ocupacional de trabalhadores rurais, a população em geral também pode ser exposta aos pesticidas por meio do consumo de alimentos contaminados, da ingestão de água potável contendo resíduos químicos e da contaminação ambiental de solos, rios e atmosfera. Segundo Alengebawy et al. (2021), a presença de pesticidas em ambientes agrícolas representa importante fator de risco ecológico e de saúde pública, especialmente devido à persistência química e ao potencial de bioacumulação dessas substâncias. Nesse contexto, grupos vulneráveis, como crianças, gestantes e idosos, apresentam maior suscetibilidade aos efeitos tóxicos dos pesticidas devido às suas características fisiológicas e metabólicas.

A literatura científica recente também destaca os efeitos cumulativos e sinérgicos decorrentes da exposição simultânea a múltiplos pesticidas, aspecto ainda pouco explorado em avaliações toxicológicas tradicionais. Além disso, o aumento da contaminação ambiental e os impactos sobre organismos não alvo, como polinizadores e espécies aquáticas, evidenciam a necessidade de abordagens integradas envolvendo saúde pública, toxicologia, epidemiologia e sustentabilidade ambiental (Nicopoulou-Stamati et al., 2016).
Estudos epidemiológicos também demonstram associação entre exposição pré-natal a pesticidas organofosforados e alterações no desenvolvimento cognitivo infantil. Bouchard et al. (2011), por exemplo, identificaram redução do quociente de inteligência em crianças expostas durante o período gestacional, reforçando a preocupação com os efeitos neurotóxicos dessas substâncias.

Dessa forma, o presente trabalho insere-se no campo das pesquisas relacionadas à toxicologia ambiental e à saúde coletiva, buscando compreender os principais impactos associados ao uso de pesticidas. O objetivo deste estudo é revisar e discutir os efeitos da exposição a pesticidas sobre a saúde humana e o meio ambiente, destacando as principais vias de exposição, os impactos toxicológicos descritos na literatura científica e a necessidade de estratégias sustentáveis para redução dos riscos associados a essas substâncias.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho caracteriza-se como uma revisão integrativa da literatura, desenvolvida com o objetivo de analisar os impactos dos pesticidas sobre a saúde humana e o meio ambiente. Segundo Snyder (2019), a revisão integrativa permite sintetizar conhecimentos já disponíveis na literatura científica, contribuindo para compreensão ampla e sistemática de determinada temática de pesquisa.

Para a realização do estudo, foram consultadas bases de dados científicas nacionais e internacionais, incluindo PubMed, Scopus, Web of Science,

ScienceDirect. A busca bibliográfica foi realizada utilizando descritores relacionados ao tema, como “pesticides”, “human health”, “environmental contamination”, “occupational exposure”, “cancer” e “neurotoxicity”, combinados por operadores booleanos.

Foram priorizados artigos científicos publicados entre os anos de 2015 e 2023, além de referências clássicas relevantes para a contextualização teórica do tema. Os critérios de inclusão contemplaram artigos originais, revisões sistemáticas e estudos epidemiológicos relacionados aos efeitos toxicológicos dos pesticidas. Foram excluídos trabalhos duplicados, estudos sem revisão por pares e publicações que não apresentavam metodologia claramente descrita.

A seleção e organização dos estudos seguiram princípios metodológicos inspirada nos princípios PRISMA 2020 para revisões sistemáticas, visando maior transparência e padronização no processo de identificação, triagem e análise dos artigos científicos (Page et al., 2021). Além disso, foram considerados os fundamentos metodológicos apresentados por Higgins et al. (2019) para avaliação e síntese das evidências científicas.

Após a seleção dos estudos, as informações foram organizadas em categorias temáticas, abordando os principais tipos de pesticidas, vias de exposição humana, impactos ambientais e efeitos associados à saúde. A análise dos dados permitiu identificar os principais achados científicos relacionados aos riscos da exposição crônica aos pesticidas e às lacunas existentes na literatura especializada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos a partir da análise da literatura científica demonstraram que a exposição aos pesticidas está associada a diversos impactos negativos à saúde humana e ao meio ambiente. Estudos epidemiológicos recentes evidenciam relação entre exposição ocupacional, ambiental e alimentar a pesticidas e o aumento da incidência de doenças crônicas, como câncer, diabetes mellitus tipo 2, doenças respiratórias, alterações neurológicas e distúrbios endócrinos (Kim et al., 2017).

Entre os grupos químicos analisados, os organofosforados e organoclorados destacaram-se pelos elevados potenciais tóxicos, principalmente devido à sua capacidade de bioacumulação, persistência ambiental e ação neurotóxica. Segundo Mostafalou e Abdollahi (2013), esses compostos apresentam forte associação com doenças crônicas e alterações fisiológicas de longo prazo. Os neonicotinoides também apresentaram relevância significativa na literatura recente, especialmente em estudos relacionados aos impactos ambientais e à redução de polinizadores, como abelhas (Sánchez-Bayo & Wyckhuys, 2019).

Os estudos revisados demonstraram que trabalhadores rurais constituem o grupo mais vulnerável à exposição direta aos pesticidas, principalmente durante o preparo, a aplicação e o descarte dessas substâncias. Damalas e Eleftherohorinos (2011) destacam que falhas no uso de equipamentos de proteção individual e práticas inadequadas de manejo aumentam significativamente os riscos ocupacionais. Entretanto, a literatura também aponta crescente preocupação com a exposição indireta da população geral por meio do consumo de alimentos contaminados, água potável e dispersão ambiental de resíduos químicos (Gilden et al., 2010; Lozowicka, 2015).

Em relação aos efeitos sobre a saúde humana, os resultados indicaram associação consistente entre exposição crônica a pesticidas e maior risco de desenvolvimento de câncer, especialmente linfoma não Hodgkin, leucemia e câncer de próstata. Bassil et al. (2007) identificaram associação entre exposição ocupacional a pesticidas e diferentes tipos de câncer em trabalhadores agrícolas. Além disso, estudos recentes demonstraram relação entre herbicidas à base de glifosato e aumento do risco de linfoma não Hodgkin (IARC, 2015; Zhang et al., 2019).

Pesquisas recentes também identificaram relação entre pesticidas e alterações neurodegenerativas, incluindo maior risco para doença de Parkinson e déficits cognitivos em crianças expostas durante o período gestacional. Segundo Pezzoli e Cereda (2013), indivíduos expostos ocupacionalmente a pesticidas apresentam maior probabilidade de desenvolver doença de Parkinson. Estudos mais recentes reforçam essa associação epidemiológica e apontam possíveis mecanismos neuroinflamatórios relacionados à exposição prolongada (Yan et al., 2022).

Em crianças, a exposição pré-natal a pesticidas organofosforados tem sido associada a prejuízos no desenvolvimento neurológico e cognitivo. Engel et al. (2011) e Rauh et al. (2011) observaram alterações no desenvolvimento neurocomportamental e redução do desempenho cognitivo em crianças expostas durante a gestação.

Os resultados também evidenciaram impactos ambientais significativos, incluindo contaminação de solos, águas superficiais e subterrâneas, além de efeitos negativos sobre organismos não alvo e biodiversidade. Esses achados corroboram estudos anteriores que apontam a persistência química dos pesticidas como importante fator de risco ambiental e de desequilíbrio ecológico (Carson, 1962; Alengebawy et al., 2021). Além disso, Carvalho (2017) destaca que o uso intensivo de pesticidas

compromete a segurança ambiental e alimentar, especialmente em regiões agrícolas com elevada utilização dessas substâncias.

A redução global de insetos polinizadores também tem sido amplamente discutida na literatura científica contemporânea. Sánchez-Bayo e Wyckhuys (2019) relacionam o declínio da entomofauna mundial à intensificação agrícola e ao uso contínuo de pesticidas neurotóxicos, especialmente neonicotinoides.

A discussão dos dados demonstra que os efeitos dos pesticidas não se limitam à toxicidade aguda, abrangendo também impactos cumulativos e crônicos frequentemente associados à exposição prolongada e simultânea a diferentes compostos químicos. Hernández et al. (2013) ressaltam que misturas de pesticidas podem produzir efeitos sinérgicos capazes de potencializar danos celulares, alterações hormonais e processos inflamatórios.

Além disso, a literatura analisada evidencia lacunas científicas relacionadas aos efeitos de longo prazo das misturas químicas, aos impactos em populações vulneráveis e à necessidade de estudos epidemiológicos mais amplos em países em desenvolvimento. Segundo Nicopoulou-Stamati et al. (2016), os modelos agrícolas contemporâneos demandam novas abordagens integradas envolvendo saúde pública, toxicologia ambiental e sustentabilidade.

Dessa forma, os resultados reforçam a importância do fortalecimento das políticas públicas de monitoramento toxicológico, fiscalização ambiental e incentivo ao desenvolvimento de práticas agrícolas sustentáveis (Moraes, 2019; Rani et al., 2021).

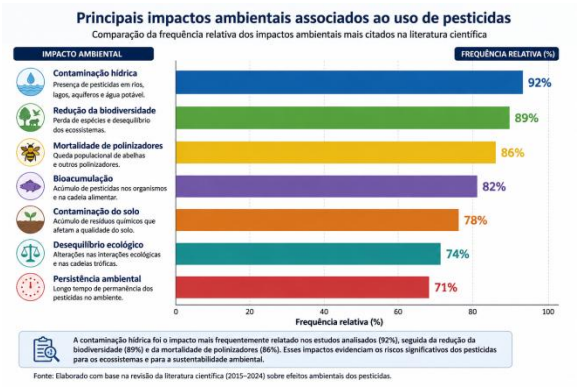

Figura 1. Gráfico comparativo mostrando os impactos ambientais mais frequentemente associados aos pesticidas.

Tabela 1 – Classificação dos principais grupos de pesticidas, mecanismos de ação e efeitos tóxicos associados à saúde humana

Grupo de pesticidas	Exemplos de compostos químicos	Mecanismo de ação	Principais efeitos tóxicos à saúde humana
1. ORGANOCLORADOS	• DDT (diclorodifeniltricloroetano) • Aldrin • Dieldrin • Endossulfam	Alteração da transmissão nervosa e alta persistência ambiental devido à sua estabilidade química e lipossolubilidade.	• Bioacumulação em tecidos gordurosos • Distúrbios endócrinos • Potencial carcinogênico • Alterações neurológicas e reprodutivas
2. ORGANOFOSFORADOS	• Malationa • Clorpirifós • Paration • Dimetoato	Inibição da enzima acetilcolinesterase (AChE), levando ao acúmulo de acetilcolina nas sinapses e à hiperestimulação nervosa.	• Neurotoxicidade aguda e crônica • Náuseas, vômitos, sudorese, cólicas • Dificuldade respiratória • Alterações cognitivas e comportamentais
3. CARBAMATOS	• Carbofurano • Aldicarbe • Metomil • Propoxur	Inibição reversível da enzima acetilcolinesterase (AChE), reduzindo a degradação da acetilcolina nas sinapses.	• Náuseas, vômitos e diarreia • Tontura, dor de cabeça e fraqueza • Distúrbios neurológicos • Irritação respiratória e ocular
4. PIRETROIDES	• Permetrina • Cipermetrina • Deltametrina • Lambda-cialotrina	Alteração dos canais de sódio dependentes de voltagem nas células nervosas, prolongando a despolarização.	• Irritação da pele, olhos e mucosas • Reações alérgicas • Neurotoxicidade (parestesias, tremores) • Possíveis alterações hormonais
5. NEONICOTINOIDES	• Imidacloprida • Clotianidina • Tiametoxam • Acetamiprida	Atuação como agonistas dos receptores nicotínicos de acetilcolina (nAChR) no sistema nervoso central de insetos.	• Alterações neurológicas • Possíveis efeitos sobre o desenvolvimento e cognição • Toxicidade para abelhas e organismos não alvo • Potenciais efeitos endócrinos

Tabela 2 – Principais vias de exposição humana aos pesticidas e grupos populacionais vulneráveis

Via de exposição	Forma de contato com pesticidas	Principais grupos vulneráveis	Possíveis impactos à saúde
Exposição ocupacional	Preparo, aplicação, armazenamento e descarte de pesticidas em atividades agrícolas.	Trabalhadores rurais, aplicadores agrícolas, técnicos agrícolas.	Intoxicação aguda, doenças respiratórias, alterações neurológicas, câncer.
Exposição alimentar	Consumo de frutas, verduras, legumes e água contaminados por resíduos de pesticidas.	População geral, crianças, gestantes e idosos.	Distúrbios endócrinos, alterações metabólicas, câncer e efeitos neurotóxicos.
Exposição respiratória	Inalação de partículas e vapores durante pulverizações agrícolas ou dispersão atmosférica.	Trabalhadores rurais, moradores próximos a áreas agrícolas.	Irritação respiratória, asma, doenças pulmonares e intoxicação sistêmica.
Exposição ambiental	Contato com solo, água e ambientes contaminados por resíduos químicos.	Comunidades rurais, populações próximas a áreas agrícolas.	Bioacumulação, efeitos crônicos, alterações hormonais e neurológicas.
Exposição doméstica indireta	Contato com roupas, equipamentos e resíduos levados para o ambiente domiciliar.	Familiares de trabalhadores rurais, especialmente crianças.	Contaminação secundária, alterações no desenvolvimento infantil e riscos toxicológicos.

Fonte: Adaptado de WHO (2020), FAO (2021) e ANVISA (2019).

CONCLUSÃO

Os pesticidas desempenham papel importante na produção agrícola contemporânea; entretanto, evidências científicas demonstram que seus impactos sobre a saúde humana e o meio ambiente são significativos e multifatoriais. Segundo Kim et al. (2017), a exposição aos pesticidas está associada a diferentes efeitos adversos à saúde humana, especialmente em populações ocupacionalmente expostas e grupos vulneráveis. Nesse contexto, torna-se fundamental fortalecer políticas públicas voltadas à segurança alimentar, vigilância toxicológica, educação ambiental e incentivo à transição agroecológica sustentável. Carvalho (2017) destaca que o uso intensivo de pesticidas representa importante desafio para a segurança ambiental e alimentar, exigindo estratégias de controle mais eficientes e sustentáveis. A exposição crônica aos pesticidas está associada ao desenvolvimento de doenças respiratórias, câncer, diabetes mellitus, alterações neurológicas e distúrbios reprodutivos. Estudos epidemiológicos recentes também reforçam a relação entre exposição prolongada a pesticidas e aumento do risco de doenças crônicas não transmissíveis. Os dados mais recentes indicam necessidade urgente de fortalecimento das políticas públicas de monitoramento toxicológico, fiscalização ambiental e proteção ocupacional. Além disso, estratégias sustentáveis, como manejo integrado de pragas, agricultura orgânica e desenvolvimento de bioinseticidas, representam alternativas promissoras para redução da dependência química e mitigação dos impactos ambientais associados aos pesticidas. Por fim, a ampliação de pesquisas epidemiológicas

de longo prazo e de programas de biomonitoramento populacional é fundamental para compreender os efeitos cumulativos e sinérgicos da exposição múltipla aos pesticidas. A produção de evidências científicas mais robustas poderá contribuir para o desenvolvimento de políticas públicas mais eficazes voltadas à proteção da saúde humana, da biodiversidade e da sustentabilidade ambiental.

REFERÊNCIAS

Alengebawy, A., Abdelkhalek, S. T., Qureshi, S. R., & Wang, M. Q. Heavy metals and pesticides toxicity in agricultural soil and plants: Ecological risks and human health implications. Toxicology Reports, 8, 42–57, 2021. https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2020.12.004

Bailey, H. D., Fritschi, L., Infante-Rivard, C., Glass, D. C., Milne, E., & Armstrong, B. K. Parental occupational pesticide exposure and the risk of childhood leukemia in the offspring. International Journal of Cancer, 137, 422–432, 2015.

Bassil, K. L., Vakil, C., Sanborn, M., Cole, D. C., Kaur, J. S., & Kerr, K. J. Cancer health effects of pesticides: Systematic review. Canadian Family Physician, 53, 1704–1711, 2007.

Bouchard, M. F., Chevrier, J., Harley, K. G., Kogut, K., Vedar, M., Calderon, N., ... Eskenazi, B. Prenatal exposure to organophosphate pesticides and IQ in 7-year-old children. Environmental Health Perspectives, 119(8), 1189–1195, 2011. https://doi.org/10.1289/ehp.1003185

Carson, R. Silent Spring. Boston: Houghton Mifflin, 1962.

Carvalho, F. P. Pesticides, environment, and food safety. Food and Energy Security, 6(2), 48–60, 2017. https://doi.org/10.1002/fes3.108

Damalas, C. A., & Eleftherohorinos, I. G. Pesticide exposure, safety issues, and risk assessment indicators. International Journal of Environmental Research and Public Health, 8(5), 1402–1419, 2011. https://doi.org/10.3390/ijerph8051402

Engel, S. M., Wetmur, J., Chen, J., Zhu, C., Barr, D. B., Canfield, R. L., & Wolff, M. S. Prenatal exposure to organophosphates and neurodevelopment in childhood. Environmental Health Perspectives, 119, 1182–1188, 2011.

Gilden, R. C., Huffling, K., & Sattler, B. Pesticides and health risks. Journal of Obstetric, Gynecologic & Neonatal Nursing, 39(1), 103–110, 2010. https://doi.org/10.1111/j.1552-6909.2009.01092.x

Henneberger, P. K., Liang, X., London, S. J., Umbach, D. M., Sandler, D. P., Hoppin, J. A., & Alavanja, M. C. Exacerbation of symptoms in agricultural pesticide applicators with asthma. International Archives of Occupational and Environmental Health, 87, 423–432, 2014.

Hernández, A. F., Parrón, T., & Alarcón, R. Toxic effects of pesticide mixtures at a molecular level: Their relevance to human health. Toxicology, 307, 136–145, 2013.

Higgins, J. P. T., Thomas, J., Chandler, J., Cumpston, M., Li, T., Page, M. J., & Welch, V. A. Cochrane handbook for systematic reviews of interventions (2nd ed.). Chichester: Wiley, 2019.

IARC. Glyphosate. Lyon: International Agency for Research on Cancer, 2015.

Jaacks, D. E., & Staimez, L. R. Contemporary review of the relationship between diabetes and environmental toxicants. Current Diabetes Reports, 15, 60, 2015.

Kim, K.-H., Kabir, E., & Jahan, S. A. Exposure to pesticides and the associated human health effects. Science of the Total Environment, 575, 525–535, 2017. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.009

Lozowicka, B. Health risk for children and adults consuming apples with pesticide residue. Science of the Total Environment, 502, 184–198, 2015. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.09.026

Moraes, R. F. Agrotóxicos no Brasil: Padrões de uso, política da regulação e prevenção da captura regulatória. Brasília: IPEA, 2019.

Mostafalou, S., & Abdollahi, M. Concerns of environmental persistence of pesticides and human chronic diseases. Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology, 39, 723–740, 2012.

Mostafalou, S., & Abdollahi, M. Pesticides and human chronic diseases: Evidences, mechanisms, and perspectives. Toxicology and Applied Pharmacology, 268(2), 157–177, 2013. https://doi.org/10.1016/j.taap.2013.01.025

Nicopoulou-Stamati, P., Maipas, S., Kotampasi, C., Stamatis, P., & Hens, L. Chemical pesticides and human health: The urgent need for a new concept in agriculture. Frontiers in Public Health, 4, 148, 2016. https://doi.org/10.3389/fpubh.2016.00148

Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., ... Moher, D. The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. BMJ, 372, n71, 2021. https://doi.org/10.1136/bmj.n71

Pezzoli, G., & Cereda, E. Exposure to pesticides or solvents and risk of Parkinson disease. Neurology, 80(22), 2035–2041, 2013.

Rani, L., Thapa, K., Kanojia, N., Sharma, N., Singh, S., Grewal, A. S., ... Kaushal, J. An extensive review on the consequences of chemical pesticides on human health and environment. Journal of Cleaner Production, 283, 124657, 2021. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124657

Rauh, V., Arunajadai, S., Horton, M., Perera, F., Hoepner, L., Barr, D. B., & Whyatt, R. Seven-year neurodevelopmental scores and prenatal exposure to chlorpyrifos. Environmental Health Perspectives, 119, 1196–1201, 2011.

Sánchez-Bayo, F., & Wyckhuys, K. A. G. Worldwide decline of the entomofauna: A review of its drivers. Biological Conservation, 232, 8–27, 2019. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.01.02

Snyder, H. Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. Journal of Business Research, 104, 333–339, 2019. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039

Van Maele-Fabry, G., Lantin, A.-C., Hoet, P., & Lison, D. Residential exposure to pesticides and childhood leukemia: Systematic review and meta-analysis. Environment International, 37, 280–291, 2011.

Zhang, L., Rana, I., Shaffer, R. M., Taioli, E., & Sheppard, L. Exposure to glyphosate-based herbicides and risk for non-Hodgkin lymphoma: A meta-analysis. Mutation Research, 781, 186–206, 2019. https://doi.org/10.1016/j.mrrev.2019.02.001