

AVALIAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO AMBIENTAL DE INSETICIDAS UTILIZADOS NO CONTROLE DA BROCA-DO-CAFÉ – ABORDAGENS PREDITIVAS¹

Gustavo Rabelo Botrel Miranda²; Carlos Gilberto Raetano³; Maria José Cerejeira⁴; Michiel Daam⁵; Emilia Silva⁶

¹ Parte do trabalho de doutorado do primeiro autor na UNESP/FCA - Campus de Botucatu

² Professor, D.Sc., IFSULDEMINAS-Muzambinho, grbmiranda@gmail.com

³ Professor, D.Sc., UNESP/FCA - Campus de Botucatu, raetano@fca.unesp.br

⁴ Professor, D.Sc., Universidade Técnica de Lisboa/Instituto Superior de Agronomia (UTL/ISA), mcerejeira@isa.utl.pt

⁵ Pesquisador, D.Sc., Universidade Técnica de Lisboa/Instituto Superior de Agronomia (UTL/ISA), mdaam@isa.utl.pt

⁶ Pesquisador, M.Sc., Universidade Técnica de Lisboa/Instituto Superior de Agronomia (UTL/ISA), emiliasilva@isa.utl.pt

RESUMO: Com o objetivo de verificar a distribuição ambiental observada em três inseticidas (chlorpirifos, endossulfan e etofenproxi), utilizados no controle da broca-do-cafeeiro (*Hypothenemus hampei* F.), um estudo foi conduzido no Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa (ISA/UTL), Portugal, com base nos trabalhos de Mackay e colaboradores. Nesses trabalhos desenvolveram-se modelos preditivos sobre a distribuição ambiental a partir de características intrínsecas dos três inseticidas associados aos fatores ambientais globais. No presente estudo, empregou-se um modelo de análise multicompartmental (modelo de fugacidade) para calcular indicadores ambientais dos inseticidas, os quais permitiram analisar a previsão da distribuição e concentração dos inseticidas no ambiente ar, água, solo e sedimento. Concluiu-se que os três inseticidas possuem a capacidade de se concentrarem mais no solo com destinação superior a 95% para este ambiente.

Palavras-chave: pesticidas, distribuição ambiental prevista, inseticidas, impacto ambiental, café

EVALUATION OF THE ENVIRONMENTAL DISTRIBUTION OF INSECTICIDES USED IN CONTROLLING THE COFFEE BORER -PREDICTIVE APPROACHES.

ABSTRACT: Aiming at verification of the environmental distribution observed in three insecticides (chlorpirifos, endossulfan and etofenproxi) used in the control of the coffee-been-borer (*Hypothenemus hampei* F.), a study based on works by Mackay and collaborators was carried out at the Instituto Superior de Agronomia pertaining to Universidade Técnica de Lisboa (ISA/UTL), Portugal. So, predictive models about the environmental distribution from the intrinsic characteristics of those three insecticides associated with global environmental factors were developed. In the present study, a multicompartmental analysis fugacity model was used in order to calculate the environmental indicators of the insecticides, which allowed for analyzing the forecast of both distribution and concentration of the insecticides in the air, water, soil and sediment environments. It was concluded those three insecticides to possess the capacity to concentrate more in the soil with destination higher than 95% for this environment.

Key words: pesticides, foreseen environmental distribution, insecticides, environmental impact, coffee

INTRODUÇÃO

O consumo de produtos fitossanitários no Brasil teve uma retração de 2,7% em 2008 devido à crise e não recuperou totalmente no ano de 2009, alavancando apenas 2,3% naquele ano. Este consumo chega a um gasto anual médio de US\$7,125 bilhões, tornando-se inevitável o seu uso na agricultura (Lammel, 2010).

Os produtos fitossanitários, após a aplicação, possuem comportamento ambiental complexo resultante de vários processos físicos, químicos e biológicos que determinam o transporte e a sua transformação. Também a distribuição pelos diferentes compartimentos (solo, água, sedimento, biota, ar) pode conduzir a níveis de exposição aos quais as diferentes espécies não visadas poderão ficar expostas (Batista, 2003).

A capacidade que um determinado produto tem em causar impacto ambiental à biota nos diferentes compartimentos tem sido considerada uma abordagem preditiva prioritária, sendo a porcentagem desses produtos presentes nos compartimentos calculada a partir do Nível I do modelo de fugacidade de Mackay et al. (1997) (Finizio et al., 2001).

Portanto, o objetivo deste trabalho foi estudar o potencial de distribuição ambiental dos inseticidas clorpirifos, endossulfan e etofenproxi, e dar embasamento a estudos de previsão de impacto ambiental de pesticidas.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo por abordagens preditivas foi realizado no Instituto Superior de Agronomia/Universidade Técnica de Lisboa (ISA/UTL) e incidiu sobre a previsão de distribuição ambiental dos inseticidas: clorpirifos, endossulfan e etofenproxi, utilizados no controle da broca-do-cafeeiro.

Utilizou-se um modelo de fugacidade, de análise multicompartimental desenvolvido por Mackay et al. (1997) e utilizou-se condições ambientais não específicas, com o objetivo de se proceder à análise comparativa das substâncias. Neste caso, um nível de exposição teórico, sem referência a um ambiente real, pode ser avaliado através de um modelo simples, calculado para um universo normalizado, assumido como um ambiente genérico, hipotético e representativo (Batista, 2003).

O modelo de fugacidade de Mackay e co-autores (Mackay, 1979, 1991, 1994; Mackay & Paterson, 1981; Mackay et al., 1997; Paterson & Mackay, 1985) é um dos modelos mais utilizados. Baseia-se na análise da partição de uma substância entre vários compartimentos ambientais e no conceito de fugacidade (f), que representa a tendência de uma substância química “escapar” de uma fase para outra.

Para o cálculo do modelo de fugacidade foi adotado um universo normalizado avaliativo, designado de “unidade mundo”, atualmente com uma superfície de 100.000 km², que representa aproximadamente a área de Ohio. A altitude atmosférica foi estabelecida arbitrariamente em 1.000 m, representando a região da troposfera mais afetada pelas emissões aéreas locais. Relativamente à área da água superficial considera-se, atualmente, que esta representa 10% do sistema, ou seja, 10.000 km², e que apresenta uma profundidade de 20 m, pelo que o seu volume é de 2x10¹¹m³. Também se assumiu solo homogêneo até uma profundidade de 0,10 m, com 2% de carbono orgânico e que o seu volume é de 9x10⁹m³. Aos sedimentos foi atribuída a mesma área ocupada pela água superficial, uma profundidade de 0,01 m e um teor de carbono orgânico de 4%, apresentando, então, um volume de 10⁸m³. Os sólidos suspensos apresentam, neste modelo, um volume de 10⁶m³ e 20% de carbono orgânico. Quanto à biota aquática (peixes) atribui-se um volume de 2x10⁵m³ e assume-se que contém 5% de lípidios. Estas duas últimas fases são pequenas em volume e raramente contém uma fração apreciável da substância química presente no sistema, embora seja nestas fases que se registram, muitas vezes, as maiores concentrações da substância (Mackay et al., 1997).

No nível I do modelo de fugacidade de Mackay et al. (1997), assumem condições estáticas, sendo a distribuição prevista aquela atingida em equilíbrio, não considerando todos os aspectos cinéticos e degradativos que caracterizam o comportamento de uma substância no ambiente. No nível II do referido modelo, ainda se considera que é atingido o equilíbrio termodinâmico. No entanto, assume-se que a substância química é continuamente introduzida no sistema a uma taxa constante e já se incorporam os processos advectivos e reativos, sendo necessário considerar os valores de meia-vida da substância nos diversos compartimentos considerados. Neste nível é feita uma primeira estimativa da persistência ambiental total. No nível III, tal como no nível anterior, a substância química é continuamente introduzida no sistema a uma taxa constante e atinge uma condição de “steady state”, em que as taxas de entrada e de saída são iguais. No entanto, considera-se que não existe equilíbrio entre os compartimentos, havendo diferentes fugacidades consoantes ao compartimento em questão. Assim, existe um balanço de massa para cada compartimento. Para, além de considerar os valores de meia-vida da substância nos diversos compartimentos, é essencial definir, separadamente, as entradas em cada compartimento. O nível IV apenas difere do nível anterior por assumir, de forma mais realística, que o sistema não está numa condição de “steady state” (Mackay et al., 1997; Vighi & Di Guardo, 1995).

Neste modelo utilizam-se as características físico-químicas dos produtos fitossanitários, selecionadas e utilizadas no sistema de cálculo nos modelos, referidas em Footprint (2008) e apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Valores das propriedades físico-químicas e de partição ambiental dos produtos fitossanitários (Footprint, 2008) utilizados no controle da broca do café. Lisboa, 2008.

Inseticida	MM (g/mol)	P. Fusão (°C)	S (mg/L)	PV (Pa)	Log Kow
Clorpirifos	350,89	43	1,05	1,43	4,7
Endossulfan	406,93	80	0,32	0,83	3,13
Etofenproxi	376,49	37,4	0,0225	0,000813	6,9

Temperatura a 25° C; S=Solubilidade; PV=Pressão de vapor.

Com base nos dados selecionados para várias substâncias e através de cálculos da concentração ambiental prevista (PEC, em mol/m³) ou da distribuição ambiental prevista (PED, em %) é possível conhecer e ordenar estas substâncias de acordo com a sua afinidade ambiental, seja para água, solo, ar, sedimento ou peixes (Batista, 2003).

Os estudos de multicompartimentabilidade e comportamento ambiental dos produtos fitossanitários foi previsto a partir de cálculos definidos por Mackay et al. (1997) e definidas as situações previstas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados referentes à distribuição ambiental prevista (PED) e à concentração ambiental prevista (PEC) dos produtos fitossanitários estão apresentados na tabela 2.

Tabela 2. Resultados da distribuição ambiental prevista (PED) e concentração ambiental prevista (PEC) dos inseticidas utilizados para o controle da broca-do-cafeeiro calculada pelo modelo de Mackay et al. (1997). Lisboa. 2008.

Inseticida	PED (%)						Fugacidade (µPa)
	Água	Ar	Solo	Sedimentos	Sólidos suspensos	Peixes	
Chlorpirifos	2,148	0,293	95,359	2,119	0,0662	0,00538	0,0207
Alfa – endossulfan	1,961	0,417	95,421	2,120	0,0663	0,00539	0,0254
Beta – endossulfan	1,752	0,361	95,688	2,126	0,0664	0,0054	0,0220
Etofenproxi	0,0139	0,0000381	97,737	2,172	0,0679	0,00552	0,0000251

Inseticida	PEC (g/m ³)			
	Água	Ar	Solo	Sedimentos
Chlorpirifós	0,0005	0	0,0105	0,021
Alfa – endossulfan	0,0005	0	0,0105	0,021
Beta – endossulfan	0,0005	0	0,0105	0,021
Etofenproxi	0	0	0,011	0,022

Ao observar a tabela 2, estima-se que todos os compostos possuem a maior afinidade ao solo, sempre com valores maiores que PED 95% e todos os inseticidas estudados possuem tendência de se acumular em torno de 2% nos sedimentos.

No compartimento água, também foi estimada uma percentagem em torno de 2%, a exceção do etofenproxi que possui valor menor de 0,0139%. Os produtos fitossanitários quando em contato com a água ainda podem ser acumulados em diferentes compartimentos antes de serem degradados, como em peixes e partículas de sedimentos em suspensão que poderão interferir na degradação destes produtos no ambiente (Fracácio, 2006). Estima-se que destas porcentagens dos produtos que migram para a água, para qualquer um dos inseticidas há tendência, em condições de equilíbrio, de serem retidos em torno de 0,0665% nos sedimentos em suspensão e, no caso dos peixes, sempre foram em torno de $5,40 \times 10^{-3}\%$ (Tabela 2).

Verificando a distribuição ambiental prevista (Tabela 2) estima-se que todos os inseticidas possuem maior afinidade para o solo, compartimento com maior risco de contaminação. No entanto, pode ocorrer contaminação das águas superficiais por produtos persistentes, com o transporte de partículas do solo em direção às águas superficiais através do arrastamento superficial causado pelas chuvas. Filizola et al. (2002); Menone et al. (2008) e Ntow et al. (2008) verificaram contaminação das águas superficiais por resíduos de endossulfan.

O potencial de perda de produtos fitossanitários pela água superficial ou lixiviação depende da combinação do produto, solo, clima e fatores de manejo. Assim, a análise de produtos fitossanitários utilizados na cadeia produtiva das culturas possibilita a identificação daqueles que podem oferecer risco potencial ou apresentar potencial de contaminação das águas superficiais e subterrâneas (Ferracini et al., 2001).

Para o compartimento ar, também não foi previsto uma elevada afinidade dos inseticidas estudados para este compartimento, sendo calculados valores percentuais mínimos para todos os inseticidas analisados, sempre em valores inferiores a 1%. Para os aerossóis obtiveram-se valores sempre da ordem de 10^{-4} ou 10^{-3} , que os tornam concentrações praticamente irrisórias para este compartimento (Tabela 2).

Deve-se salientar que os valores obtidos em concentração ambiental prevista (PEC) são dependentes dos valores considerados no universo de cálculo (Universo Mundo) e que não devem ser correlacionados com concentrações reais. No entanto, no compartimento dos sedimentos foram previstas altas concentrações de inseticidas (Tabela 2).

CONCLUSÕES

Para todos os inseticidas estudados existe a tendência de destinar ao compartimento ambiental – solo; volumes superiores à 95% do que é lançado ao ambiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BATISTA, S.A.B. **Exposição da água subterrânea a pesticidas e nitratos em ecossistemas agrícolas do Ribatejo e Oeste e da Beira Litoral**. Lisboa, 2003, 468f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrônômica – Pós-graduação em Produção Integrada) Instituto Superior de Agronomia – Universidade Técnica de Lisboa.

ETOFPENPROX 185. Disponível em:

<http://www.fao.org/ag/AGP/AGPP/Pesticid/JMPR/Download/93_eva/efenpox.pdf>. Acesso em: 31/07/2008.

FERRACINI, V.L.; PESSOA, M.C.Y.P.; SILVA, A.S.; SPADOTTO, C.A. Análise de risco de contaminação das águas subterrâneas e superficiais da região de Petrolina (PE) e Juazeiro (BA). **Pesticidas: Revista Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 11, p. 1-16, 2001.

FILIZOLA, H.F.; FERRACINI, V.L.; SANS, L.M.A.; GOMES, M.A.F.; FERREIRA, C.J.A. Monitoramento e avaliação de risco de contaminação de pesticidas em água superficial e subterrânea na região de Guaíra/SP. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.5, p. 659-667, 2002.

FOOTPRINT: creating tools for pesticide risk assessment and management in Europe. Disponível em: <<http://sitem.herts.ac.uk/aeru/footprint/en/index.htm>>. Acesso em: 31/07/2008.

FRACÁCIO, R.. **Estudos limnológicos e ecotoxicológicos (laboratoriais e *in situ*), com ênfase na avaliação da toxicidade de metais e de pesticidas organoclorados em peixes (*Danio rerio* e *Poecilia reticulata*) – sub-bacia do rio Monjolinho**. 2006. 184f. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

LAMMEL, J. **DEFENSIVOS AGRÍCOLAS - Indústria analisa perspectivas para a agricultura em 2010**. Disponível em: <<http://www.revistacafeicultura.com.br/index.php?tipo=ler&mat=29665>>. Acesso em 12/01/2010.

MACKAY, D. Finding fugacity feasible. **Environmental Science Technology**, Easton, v.13, p. 1218-1223, 1979.

MACKAY, D. **Multimedia environmental models**. The fugacity approach. Lewis Publishers, Inc., Chelsea, Michigan, 1991. 257p.

MACKAY, D. **Fate Models**. In: CALOW, P. (Ed.) Handbook of ecotoxicology. Blackwell scientific publications, Oxford, UK, v. 2, p. 348-367. 1994.

MACKAY, D.; PATERSON, S. Calculating fugacity. **Environmental Science Technology**, Easton, v. 15, p. 1006-1014, 1981.

MACKAY, D.; SHIU, W.; MA, K. **Illustrated handbook of physical-chemical properties and environmental fate for organic chemicals**. Vol. V Pesticide chemicals, CRC Press LLC, Boca Raton, Florida, 1997, 812p.

MENONE M.L.; PESCE S.F.; DIAZ M.P.; MORENO V.J.; WUNDERLIN D.A. Endossulfan induz estresse oxidativo e mudanças na desintoxicação enzimas na macrófitas aquáticas *Myriophyllum quitense*. **Fitoquímica**, v. 69, n. 5, p. 1150-1157, 2008.

NTOW W.J.; DRECHSEL P.; BOTWE B.O.; KELDERMAN P.; GIJZEN H.J.; HUUB J. O impacto da enxurrada agrícola sobre a qualidade dos dois córregos, em áreas agrícolas vegetais em Gana. **Revista de Qualidade Ambiental**, v. 37, n.2, p. 696-703, 2008.

PATERSON, S.; MACKAY, D. **The fugacity concept in environmental modeling**. In: HUTZINGER, O. (Ed.) – Handbook of environmental chemistry. Springer-Verlag, Heidelberg, Germany, 2/Part C, p.121-140, 1985.

VIGHI, M.; DI GUARDO, A. Predictive approaches for the evaluation of pesticide exposure. In: VIGHI, M.; FUNARI, E. (Eds.). **Pesticide risk in groundwater**. CRC Press, Boca Raton, 1995. p.73-100.