

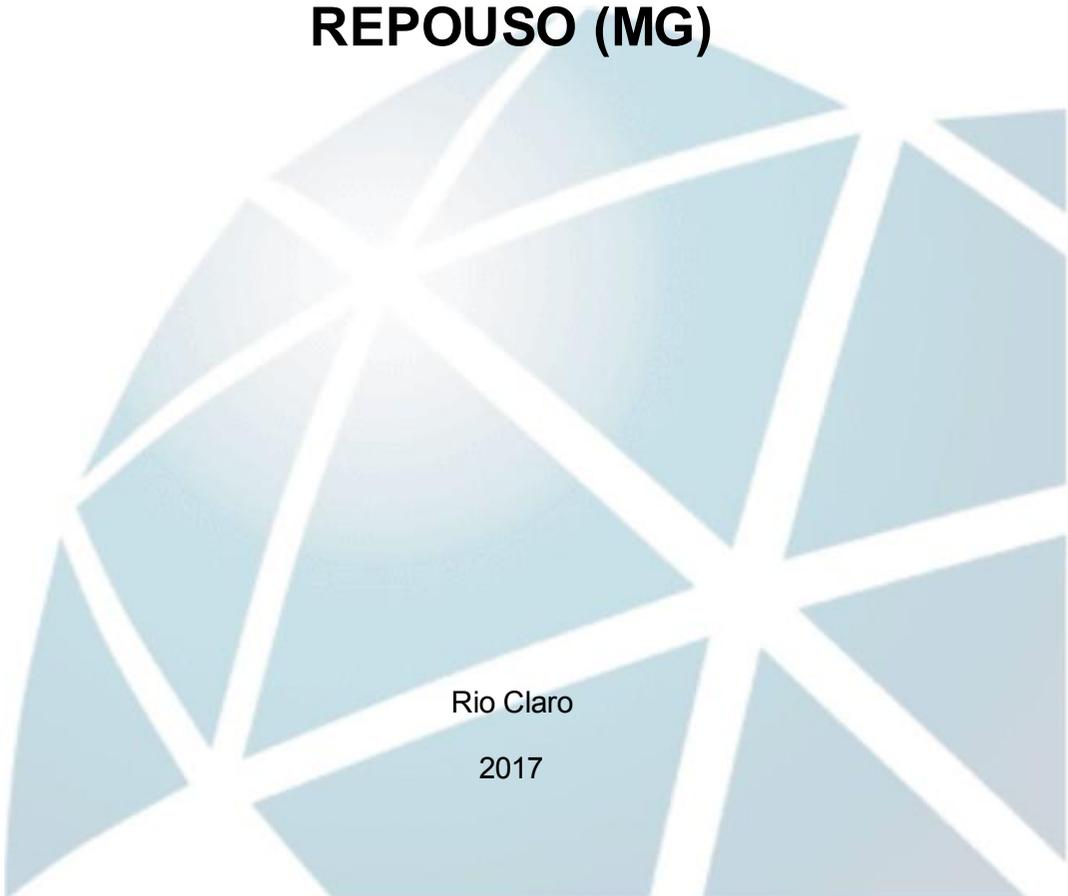
---

ECOLOGIA

---

**MICHELE MATOS DOS SANTOS**

**AVALIAÇÃO DE RISCO ECOLÓGICO DO  
ECOSSISTEMA TERRESTRE COM BASE NO  
MODELO AGRÍCOLA CONVENCIONAL  
BRASILEIRO: ESTUDO DE CASO EM BOM  
REPOUSO (MG)**



Rio Claro

2017

MICHELE MATOS DOS SANTOS

AVALIAÇÃO DE RISCO ECOLÓGICO DO ECOSISTEMA TERRESTRE COM  
BASE NO MODELO AGRÍCOLA CONVENCIONAL BRASILEIRO: ESTUDO DE  
CASO EM BOM REPOUSO (MG)

Orientador: Vanessa Bezerra de Menezes Oliveira

Coorientador: Vania Silvia Rosolen

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Biociências da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - Câmpus de Rio Claro, para obtenção do grau de Ecóloga.

Rio Claro

2017

574.5 Santos, Michele Matos dos  
S237a Avaliação de risco ecológico do ecossistema terrestre com base no modelo agrícola convencional brasileiro: estudo de caso em Bom Repouso (MG) / Michele Matos dos Santos. - Rio Claro, 2017  
31 f. : il., figs., gráfs., tabs.

Trabalho de conclusão de curso (Ecologia) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Rio Claro  
Orientadora: Vanessa Bezerra de Menezes Oliveira  
Coorientadora: Vania Silvia Rosolen

1. Ecologia. 2. Avaliação de risco ecológico. 3. Agência Americana de Proteção Ambiental. 4. Invertebrados terrestres. I. Título.

## **Dedicatória**

*À minha mãe Célia, ao meu pai Edson e ao meu irmão Michael.*

## **Agradecimento**

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa de iniciação científica.

À Universidade de São Paulo, pela oportunidade de desenvolver a pesquisa.

À minha orientadora, Dra. Vanessa Bezerra Menezes de Oliveira, por todo apoio e incentivo, e pela paciência durante todo esse tempo. Obrigada por todos os conselhos.

À minha coorientadora Dra. Vania Silva Rosolen, pela amizade e pelo apoio, obrigada pela sua atenção.

A TODOS os amigos do NEEA, em especial à Bruna, à Marina e ao Thandy, muito obrigada por todo suporte e ajuda que vocês me deram e por toda paciência que tiveram comigo.

À minha mãe Célia, obrigada por TUDO, pela confiança, pela esperança e fé, por todo apoio e por toda força que a senhora sempre me deu. Eu sou grata por tantas coisas que a senhora fez por mim, muito obrigada mesmo.

Ao meu pai Edson, obrigada por TUDO, pelos votos de confiança e incentivo, por acreditar no meu potencial e por todo apoio durante todos esses anos de faculdade.

Ao meu irmão, o grande responsável por tudo isso. OBRIGADA por acreditar tanto em mim, sua amizade com certeza me ajudou a seguir essa árdua jornada.

Ao Obama, obrigada por ser tão paciente comigo, por me ouvir e por me aconselhar, e principalmente por todas as gentilezas feitas a mim. Nem sei como agradecer por tudo.

Ao meu avô e a todos os meus tios, tias, primos e primas, por todo apoio e incentivo, em especial as minhas madrinhas Ivone e Vilma, por toda ajuda e carinho.

As minhas queridas amigas desde o primeiro ano, Jéssika e Tamara, obrigada pela amizade de vocês, e por todos os momentos de descontração e gordices, a amizade de vocês foi fundamental para mim.

As minhas amigas Aline, Mayra, Victória, Joyce, Ana Flávia, Cíntia e Stefani, por tornarem meus dias mais felizes em algum momento dessa longa trajetória.

A todos os funcionários da biblioteca da UNESP de Rio Claro, que sempre foram muito atenciosos e prestativos, em especial à Gi, à Ângela, à Célia, ao Maurício e ao Renan.

À moradia estudantil, que me proporcionou permanecer na cidade de Rio Claro e concretizar meus estudos.

A todos, que direta ou indiretamente me apoiaram durante todos esses anos e torcem pelo meu sucesso.

E a Deus por toda força e saúde, para que eu pudesse ultrapassar todas as dificuldades e barreiras.

## RESUMO

O método de Avaliação do Risco Ecológico (ARE) proposto pela Agência Americana de Proteção Ambiental, pode ser usado para calcular os danos e impactos causados ao meio ambiente pela ação antrópica. Esse método consiste em 3 etapas: formulação do problema, avaliação da exposição e caracterização do risco. No Brasil ainda há poucas pesquisas na área, portanto, verifica-se a necessidade de novos estudos e aplicações da Avaliação de Risco Ecológico no país, demonstrando a viabilidade da análise para os ecossistemas localizados em regiões tropicais e subtropicais do Brasil. Buscando ampliar a aplicação da ARE no Brasil, e levando em consideração a problemática do município de Bom Repouso – MG e da contaminação de ambientes terrestres, ainda muito negligenciados no país, neste trabalho será feita uma análise do risco ecológico ao compartimento terrestre associado a dois agrotóxicos comumente utilizados na região de estudo, o Kraft®36EC (i.a. abamectina) e o Score®250EC (i.a. difenoconazol). E os testes com invertebrados terrestres (*Folsomia candida*, *Enchytraeus crypticus* e *Hypoaspis aculeifer*) foram realizados para aferir a toxicidade dos compostos a organismos do solo. Os resultados obtidos para os organismos expostos à contaminação por Kraft®36EC demonstraram uma maior sensibilidade de todos os organismos quando comparados à contaminação por Score®250EC. A *Folsomia candida* foi o organismo mais sensível a ambos os agrotóxicos.

**Palavras-chave:** Avaliação de Risco Ecológico (ARE), Agência Americana de Proteção Ambiental, invertebrados terrestres.

## **ABSTRACT**

The Ecological Risk Assessment (ERA) method proposed by United States Environmental Protection Agency can be used to calculate the damages and impacts caused to the environment by anthropogenic action. Few studies have been conducted in tropical environments leading the evaluators to data from temperate regions. In this way, the main objective of this work is to evaluate the ecological risk of the use of agrochemicals for terrestrial ecosystems, leading to consider a problem of strawberry plantations in the municipality of Bom Repouso - MG. The targeted pesticides or insecticides Kraft®36EC (i.a. abamectin) and the fungicide Score® 250EC (i.a. difenoconazole). Ecotoxicological tests were performed to evaluate the chronic toxicity of these compounds to a (Enchytraeus crypticus), a collembolan (Folsomia candida) and a mite (Hypoaspis aculeifer). Results showed a greater sensitivity to the insecticide Kraft®36EC, and the Folsomia candida was the most sensitive organism for both products.

**Keywords:** Ecological Risk Assessment (ERA), United States Environmental Protection Agency, terrestrial invertebrates.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	9
1.1. Objetivo.....	11
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	12
2.1. Área de estudo.....	12
2.2. Substâncias teste.....	13
2.3 Delineamento experimental.....	13
2.3.1 Testes ecotoxicológicos.....	13
2.3.2 Cálculo das concentrações de efeito.....	15
2.3.3 Distribuição ambiental prevista.....	15
2.3.4 Concentração Ambiental Prevista.....	16
2.3.5 Concentração de Efeito Previsto (PNEC).....	16
2.3.6 Cálculo do Risco Ecológico.....	17
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	18
3.2 Testes Ecotoxicológicos.....	18
3.3 Concentrações de Efeito.....	20
3.4 Distribuição Ambiental Prevista.....	23
3.5 Concentração Ambiental Prevista (PEC).....	25
3.6 Risco ecológico.....	27
4 CONCLUSÃO.....	29
5 REFERÊNCIAS.....	30

## 1. INTRODUÇÃO

Há aproximadamente 10.000 anos surgiram os primeiros sistemas de cultivo de plantas e animais, a prática ocorria em terras já fertilizadas, como por exemplo, em aluviões das vazantes dos rios, e em pequena escala, de modo que não era necessário desmatar a área. Com o passar dos anos, a industrialização e a crescente demanda demográfica, houve uma expansão desses sistemas pelo mundo, e com isso, grande parte dos ecossistemas do planeta vêm sofrendo modificações, visto que as duas principais formas agricultáveis são: os sistemas pastoris e de cultivos que exigem a derrubada ou queimada da vegetação nativa (MAZOYER e ROUDART, 2008, VANDERLEI, 2015).

Para suprir a crescente demanda mundial por alimentos, a partir dos anos 1960, foi necessário que a agricultura passasse por um processo de modernização, para isso, práticas como a da utilização de agrotóxicos e fertilizantes começaram a ser empregadas, no intuito de controlar doenças e pestes e ou aumentar a produtividades do cultivo. Esse processo ficou conhecido como “Revolução Verde” e permitiu aumentar fortemente a produção agrícola em vários países (MAZOYER e ROUDART, 2008, NUNES, 2010, VANDERLEI, 2015).

No Brasil, essa política de modernização levou o país a se destacar sempre entre os maiores mercados mundiais consumidores de agrotóxicos. A partir de 2008 o Brasil passa a liderar o mercado de consumo de agrotóxicos, título este que o país detém até os dias atuais (SINDAG, 2012).

Segundo Fay e Silva (2004) os níveis de fósforo, nitratos e as concentrações residuais dos agrotóxicos e de seus metabólitos no solo, tornam-se elevados devido aos sistemas de produção intensivos. Além de tóxicos, estes produtos tendem a ser muito persistentes e bioacumulativos no ambiente, podendo causar impacto ambiental, como por exemplo: contaminação do solo e de águas superficiais e subterrâneas, levando a eutrofização e salinização da água; comprometimento da flora e fauna nativas e saúde humana, além da transferência de substâncias potencialmente tóxicas na cadeia alimentar (FAY e SILVA, 2004, NUNES, 2010).

De acordo com Ockleford *et al.*,( 2017) o solo pode ser considerado o ambiente biológico mais diretamente afetado pelo uso de produtos fitossanitários. Ele desempenha diversas funções ambientais, que vão desde o fornecimento de alimento até a geração de matéria-prima. Além disso, a fauna edáfica é muito diversa, e abrange milhares de espécies de organismos invertebrados que variam em tamanho, desde alguns micrômetros (microfauna) até metros de comprimento (macrofauna). Essa grande variedade de organismos contribui direta ou indiretamente com os serviços ecossistêmicos, podendo atuar na

fragmentação de resíduos vegetais da serrapilheira, o que proporcionaria um aumento na taxa de decomposição da matéria orgânica e consequente disponibilização de nutrientes. (PARRON *et al*, 2015). Contudo, esses serviços ecossistêmicos podem ser impactados devido o uso contínuo de pesticidas, pois podem ser tóxicos a espécies não-alvo e benéficas.

Os impactos causados ao ecossistema pela ação antrópica podem ser quantificados e qualificados, e com isso serem utilizados na avaliação dos danos já existentes, e nos riscos futuros que podem ocorrer no meio ambiente. A avaliação de risco é um instrumento muito importante, visto que, por meio dela é possível determinar em que grau a integridade de um ecossistema pode ser perturbada por diferentes estressores, como os defensivos agrícolas (agrotóxicos), e dar base para tomadas de decisões que visem mitigar ou mesmo recuperar ambientes degradados. O método de Avaliação do Risco Ecológico (ARE) proposto durante a década de 80 pela Agência Americana de Proteção Ambiental (U. S. Environmental Protection Agency -USEPA) pode ser utilizado para calcular os possíveis danos ao meio ambiente e consiste em 3 etapas: formulação do problema, avaliação da exposição e caracterização do risco (NUNES, 2010, PAGLIARINI, 2014).

No Brasil, e em outras regiões de clima tropical a Ecotoxicologia em geral e a Ecotoxicologia Terrestre, ainda são pouco estudadas. Por conta do reduzido número de trabalhos realizados em ambientes tropicais, os dados utilizados para Avaliação de Risco Ecológico de compartimentos terrestres são geralmente provenientes de estudos realizados em países de clima temperado, dessa forma, pode ocorrer uma extrapolação dos dados e efeitos dos agrotóxicos para regiões de clima diferentes, e como não há protocolos específicos para países de climas tropicais, não se sabe ao certo se esses efeitos podem ou não ser significativos, e se eles representam o que de fato acontece em ambientes de clima tropical, dificultando a discussão e comparação de estudos realizados nestas regiões, principalmente para diagnóstico e avaliação de risco ecológico (NUNES, 2010).

Portanto, verifica-se a necessidade de novos estudos e aplicações da Avaliação de Risco Ecológico no país, demonstrando a viabilidade da ARE para os ecossistemas localizados em regiões tropicais e subtropicais.

Considerando o acima exposto, optou-se pela aplicação da ARE no contexto do cultivo de morango do município de Bom Repouso, situado ao Sul do estado de Minas Gerais. A área possui grande importância hídrica, é rica em nascentes, e compreende, em especial, as microbacias do Rio Mogi-Guaçu, Rio Espriado e Rio do Peixe. Os principais impactos ambientais que ocorrem na região incluem lavouras tradicionais instaladas em áreas inaptas e em áreas de preservação permanente; o intenso uso de fertilizantes e de agrotóxicos, e o descarte indiscriminado de suas embalagens; supressão da mata nativa de encosta e de topo de morros, e das áreas de mata ciliar tanto nas nascentes quanto nos córregos; a

disposição inadequada do esgoto sanitário e o planejamento inadequado do turismo (ESPÍNDOLA, 2008, SILVA, 2016).

De acordo com Espíndola (2008), as atividades agrícolas que mais se destacam no município são: o cultivo de batata, o morango, seguido de café, alho e tomate. Para a manutenção das culturas citadas, mais de 60 tipos de agrotóxicos são utilizados no município sendo a Abamectina e o Difenoconazol, por meio de seus produtos comerciais, dois dos mais utilizados na região (NUNES, 2010).

A viabilidade de aplicação da ARE nesta região baseia-se não somente no fato deste sistema estar inserido em área com elevada produção agrícola, mas também em decorrência das informações existentes sobre o mesmo, produzidas pelo projeto PEsTe (Pesticidas em Ecossistemas Terrestres: efeitos na biodiversidade, funções e serviços dos ecossistemas), coordenado pela Dra. Vanessa Bezerra de Menezes Oliveira, orientadora deste trabalho de conclusão de curso, que vem sendo desenvolvido desde Janeiro de 2014 e já gerou uma grande base de dados envolvendo aspectos físicos, químicos, biológicos e ecotoxicológicos da matriz solo na região de estudo.

### ***1.1. Objetivo***

O objetivo desta pesquisa foi avaliar o risco ecológico ao ecossistema terrestre devido à utilização do fungicida Score®250EC e do inseticida Kraft®36EC em campos agrícolas. Como ferramenta para avaliação foram utilizados os resultados de testes ecotoxicológicos com organismos terrestres, são eles: *Folsomia candida*, *Enchytraeus crypticus* e *Hypoaspis aculeifer*. E o modelo matemático de MacKay, que gera dados em porcentagem da distribuição ambiental prevista dos contaminantes para cada compartimento ambiental.

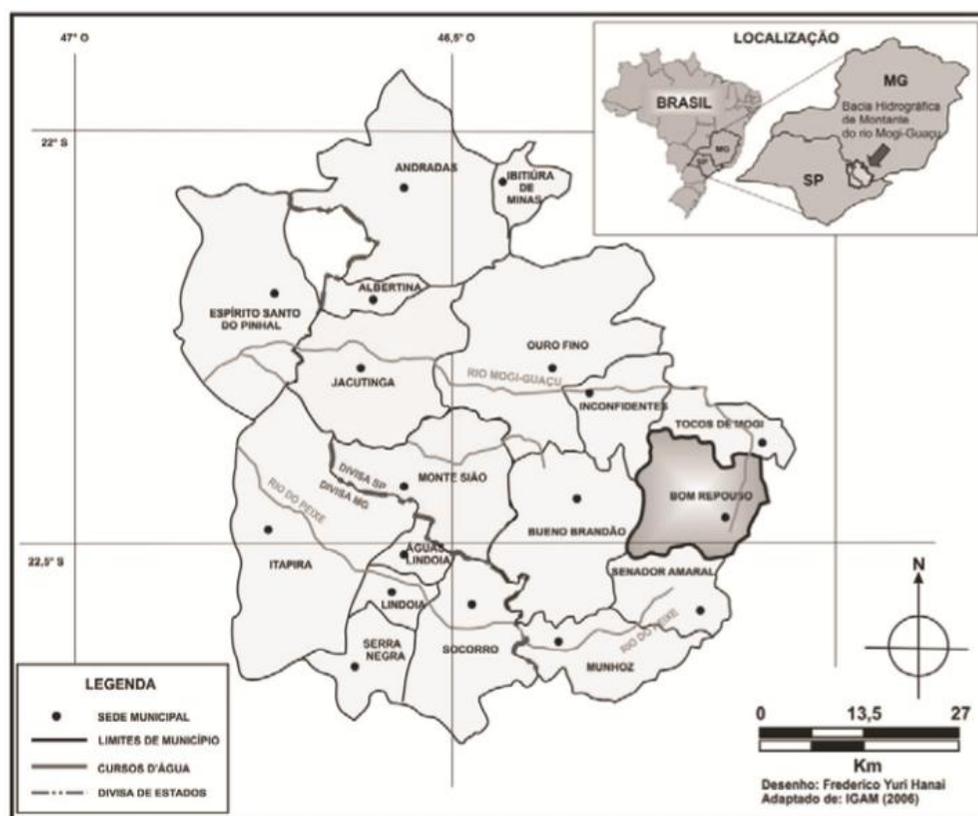
## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho não abrange amostragens a campo propriamente ditas, mas baseia-se em dados do projeto PEsTe (Pesticidas em Ecossistemas Terrestres: efeitos na biodiversidade, funções e serviços dos ecossistemas), que vem sendo desenvolvido desde Janeiro de 2014 e já gerou uma grande base de dados envolvendo aspectos físicos, químicos, biológicos e ecotoxicológicos da matriz solo na região de estudo e outros estudos previamente desenvolvidos no município de Bom Repouso (MG) (MENEZES-OLIVEIRA; BIANCHI; ESPÍNDOLA, 2017).

### 2.1. Área de estudo

O município de Bom Repouso está localizado a sudoeste do estado de Minas Gerais (Figura 1), com latitude  $22^{\circ} 28' 15'' S$  e longitude  $46^{\circ} 08' 42''$ . Segundo a classificação de Köppen, esta região apresenta clima tropical Cwb e índice médio de pluviosidade de 1500 mm. É um local rico em nascentes, incluindo a do rio Mogi-Guaçu. Possui como principal domínio fitoecológico a Mata Atlântica, contudo é possível encontrar agrupamentos de araucárias. Apesar disso, a região já está bastante devastada, em virtude das atividades agroeconômicas (exploração da madeira, agricultura, pecuária e criação de pequenos animais). A principal atividade econômica da região é o cultivo de batata-inglesa e morango.

Figura 1- Localização do município de Bom Repouso- MG.



Fonte: Nunes (2010 p.29).

## **2.2. Substâncias teste**

### **2.2.1 Kraft®36EC**

O Kraft®36EC é um produto fitossanitário, cuja composição é dada por, 3,6% de ingrediente ativo (Abamectina). Apresenta função inseticida/acaricida/nematicida de origem biológica, além de ser um agente antiparasitário em animais de criação e estimação. O defensivo agrícola pode ser usado em diversas culturas como algodão, batata, feijão, maçã, mamão, citros, crisântemo, tomate e morango. Na cultura do morango, o Kraft®36EC costuma ser aplicado para erradicação do ácaro-rajado (*Tetranychus urticae*). De acordo com as indicações do fabricante a dose máxima a ser aplicada é de 30 mL do produto para cada 100 L de água, o que consiste em uma concentração de 0,02 mg abamectina/kg de solo seco. O produto pode ser aplicado três vezes durante o ciclo da planta com intervalo de 7 (sete) dias entre as aplicações. O produto é classificado pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) como extremamente tóxico à saúde humana (classe 1) e como muito tóxico ao meio ambiente pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) (classe 2).

### **2.2.2 Score®250EC**

O Score®250EC é um produto agroquímico cuja composição é dada por 25% de ingrediente ativo (Difenoconazol). É usado como defensivo agrícola em diversas culturas como algodão, alface, abobrinha, alho, amendoim, arroz, banana, batata, berinjela, beterraba, café, cenoura, cebola, citros, couve-flor, ervilha, feijão, maçã, mamão, manga, maracujá, melancia, melão, pepino, pimentão, soja, uva e morango. Na cultura do morango, o Score®250E costuma ser aplicado para erradicação da mancha mycosphaerella causada pelo fungo *Mycosphaerella fragariae*. De acordo com indicações do fabricante a dose máxima recomendada é de 40 mL a cada 100 L de água aplicada na cultura com intervalos mínimos de 14 dias. O que consiste em uma concentração de 0,04 mg difenoconazol/kg de solo seco. Assim como o Kraft®36EC é classificado pela ANVISA como extremamente tóxico a saúde humana (classe 1) e como muito tóxico ao meio ambiente pelo IBAMA (classe 2), além disso, é considerado altamente persistente no meio ambiente.

## **2.3 Delineamento experimental**

### **2.3.1 Testes ecotoxicológicos**

Os resultados a serem utilizados são provenientes de seis testes crônicos, realizados no âmbito do projeto PEsTe, com intuito de avaliar o efeito dos agrotóxicos Kraft®36EC e Score®250EC na reprodução e sobrevivência de diferentes espécies da mesofauna edáfica. São elas: o colêmbolo *Folsomia*

*candida*, o ácaro predador *Hypoaspis aculeifer* e o enquitreídeo *Enchytraeus crypticus*. Estes organismos foram escolhidos por serem considerados bioindicadores, ou seja, são relevantes para o ecossistema em questão. São de fácil manipulação e avaliação, apresentam sensibilidade às condições de manejo e clima e podem ser expostos a métodos quantitativos e qualitativos (BIANCHI *et al*, 2010). Os testes foram realizados de acordo com os protocolos OECD, 2004; OECD, 2008 e OECD, 2009 para colêmbolos, ácaros e enquitreídeos, respectivamente.

Os organismos são cultivados no Núcleo de Ecotoxicologia e Ecologia Aplicada (NEEA) da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC) da Universidade de São Paulo (USP) desde 2014. Os colêmbolos e os ácaros são cultivados em recipientes de plástico, com tampa perfurada, contendo um substrato constituído de gesso e carvão ativado, misturados na proporção de 9:1. A quantidade de água adicionada a cada 100 g da mistura depende do tipo de gesso usado, e pode variar entre 60 e 100 mL. Os enquitreídeos são mantidos em meio de cultivo preparado a partir da mistura esterilizada de quatro diferentes soluções salinas (CaCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O; MgSO<sub>4</sub>; KCl; NaHCO<sub>3</sub>) e Ágar.

Os testes decorreram na temperatura de 20 ± 2 °C e fotoperíodo de 16 horas de luminosidade e 8 horas de escuro. As concentrações foram escolhidas por meio de ensaios preliminares com todos os organismos e uma faixa de concentração alargada, a qual foi reduzida para os testes definitivos, de acordo com a sensibilidade de cada espécie testada. Além disso, foram utilizadas concentrações correspondentes às doses recomendadas de cada produto para a cultura de morango.

### ***Folsomia candida***

O protocolo OECD 232 (OECD, 2009) foi utilizado para os testes com colêmbolos. Dez organismos sincronizados, com idade entre 10 e 12 dias, foram expostos durante 28 dias a diferentes concentrações dos contaminantes, sendo 0,02 mg/kg, 0,04 mg/kg, 0,06 mg/kg, 0,5 mg/kg, 0,75 mg/kg, 1 mg/kg, 2 mg/kg, 4 mg/kg e 8 mg/kg para Kraft®36EC e 0,04 mg/kg, 0,12 mg/kg, 0,24 mg/kg, 25 mg/kg, 50 mg/kg, 75 mg/kg, 100 mg/kg e 200 mg/kg para o Score®250EC. Foram utilizadas 5 réplicas por concentração, contendo 30 g de solo úmido cada. Os organismos foram alimentados com fermento biológico (*Saccharomyces cerevisiae*) e, assim como para o alimento, a umidade do solo foi repostada semanalmente.

### ***Enchytraeus crypticus***

O protocolo OECD 220 (OECD, 2004) foi utilizado para os testes com enquitreídeos. Dez organismos adultos com clitelo bem desenvolvido foram expostos durante 21 dias a diferentes

concentrações dos contaminantes, sendo 0,02 mg/kg, 2,5 mg/kg, 5 mg/kg, 10 mg/kg e 20 mg/kg para Kraft®36EC e 0,04 mg/kg, 25 mg/kg, 50 mg/kg, 100 mg/kg, 150 mg/kg e 200 mg/kg para o Score®250EC. Foram utilizadas 5 réplicas contendo 30 g de solo úmido cada. Os organismos teste foram alimentados com farinha de aveia e, assim como para o alimento, a umidade do solo foi repostada semanalmente.

### ***Hypoaspis aculeifer***

O protocolo OECD 226 (OECD, 2008) foi utilizado para testes com *Hypoaspis aculeifer*. Dez fêmeas adultas com idade entre 28 e 35 dias foram expostas a diferentes concentrações dos agrotóxicos, sendo 0,02 mg/kg, 1 mg/kg, 2 mg/kg, 4 mg/kg, 8 mg/kg, 16 mg/kg e 32 mg/kg de Kraft®36EC e 0,04 mg/kg, 75 mg/kg, 150 mg/kg, 300 mg/kg, 450 mg/kg e 600 mg/kg de Score®250EC. Foram utilizadas 5 réplicas contendo 20 g de solo úmido. Os organismos foram alimentados semanalmente com o ácaro *Tyrophagus putrescentiae*. A perda de umidade foi repostada semanalmente.

#### **2.3.2 Cálculo das concentrações de efeito**

As concentrações de efeito (CE<sub>x</sub>) foram calculadas por meio de regressões não lineares, através da análise de variância, onde foi possível estimar a Concentração de Efeito Observável (CEO) e a Concentração de Efeito Não Observável (CENO). A homogeneidade dos dados (Shapiro Wilk), e a homogeneidade das variâncias (Teste de Levene) também foram estimadas. Todos os cálculos citados foram realizados pelo software Statistica 7, As concentrações letais (CL<sub>10</sub> e CL<sub>50</sub>) foram calculadas com o auxílio do programa PriProbit versão 1.63 os resultados das análises podem ser encontrados na Tabela 2.

#### **2.3.3 Distribuição ambiental prevista**

A distribuição ambiental prevista dos agrotóxicos Kraft®36EC e Score®250EC foi determinada com ajuda do programa matemático MacKay (MACKAY, 1985). O MacKay é um modelo de “fugacidade”, isto é, calcula o potencial de transformação de fase de um determinado composto, no caso os agrotóxicos, com base em suas características físico-químicas (massa molar, solubilidade em água, pressão de vapor, ponto de fusão e coeficiente de partição octanol-água), por meio da seguinte fórmula:  $C=f*Z$ , onde:

C = a concentração do composto em determinado compartimento;

F = a fugacidade do composto

Z = a capacidade de fugacidade do compartimento

O resultado da aplicação do modelo de fugacidade MacKay gera dados de porcentagem da distribuição ambiental prevista dos contaminantes para cada compartimento ambiental.

#### **2.3.4 Concentração Ambiental Prevista**

A Concentração Ambiental Prevista ou Predicted environmental concentration (PEC) dos agrotóxicos Kraft®36EC e Score®250EC no compartimento solo foi estimada a partir dos resultados da distribuição ambiental prevista, obtida por meio do modelo de fugacidade MacKay, e das informações relativas à quantidade e modo de aplicação dos produtos, conforme equação a seguir:

$$PEC = DAP(solo) \cdot [agrotóxico] / 100$$

Onde:

DAP = Distribuição Ambiental Prevista, gerada pelo programa Mackay para o compartimento solo.

[agrotóxico] = máxima concentração permitida do agrotóxico com base na dose recomendada e quantidade de aplicações permissíveis do produto.

#### **2.3.5 Concentração de Efeito Previsto (PNEC)**

Para o cálculo das concentrações de efeito previsto (PNEC) dois métodos de extrapolação foram desenvolvidos. O primeiro é o método da Distribuição da Sensibilidade das Espécies (SSD), que são métodos estatísticos que requerem a determinação de concentração que em que efeitos não sejam observados (NOECs) para um dado número de espécies (mínimo cinco) pertencentes a diferentes grupos taxonômicos. O segundo método é o dos fatores de avaliação (FA), o qual será utilizado neste trabalho (LEEUEWEN; VERMEIRE, 2007).

O fator de avaliação predeterminado é utilizado no intuito de refletir as incertezas. Quanto mais realísticos forem os testes, menor será o fator de incerteza a ser utilizado (Tabela 1) (REACH, 2008). Para o cálculo do PNEC no presente trabalho será utilizado o fator de avaliação 50, dados originados de testes de longa duração com organismos de dois níveis tróficos.

Tabela 1- Fatores de avaliação para derivação do PNEC para o solo.

<b>Informações disponíveis</b>	<b>Fator de avaliação</b>
Teste (s) de toxicidade de L (E) C50 a curto prazo (por exemplo, plantas, minhocas ou microrganismos)	1000
CENO para um teste de toxicidade a longo prazo (por exemplo, plantas)	100
CENO para testes adicionais de toxicidade a longo prazo de dois níveis tróficos	50
CENO para testes adicionais de toxicidade a longo prazo para três espécies de três níveis tróficos	10
Distribuição de sensibilidade de espécies (método SSD)	5-1, Para ser plenamente justificado caso a caso (ver texto principal)
Dados de campo / dados de ecossistemas modelo	Caso a caso

Fonte: Adaptado do protocolo REACH (2008 p.41).

### ***2.3.6 Cálculo do Risco Ecológico***

Segundo Leeuwen e Vermeire (2007), o risco pode ser definido como a probabilidade de ocorrer um efeito adverso em um organismo, população ou sistema causado em circunstâncias específicas por exposição a um agente estressor. O risco apresenta três variáveis características: o tipo, a magnitude e a probabilidade do perigo. Em termos quantitativos, os riscos são frequentemente expressos em termos de estimativas de probabilidade que variam de 0 (zero) a 1 (um) (LEEUVEN e VERMEIRE, 2007).

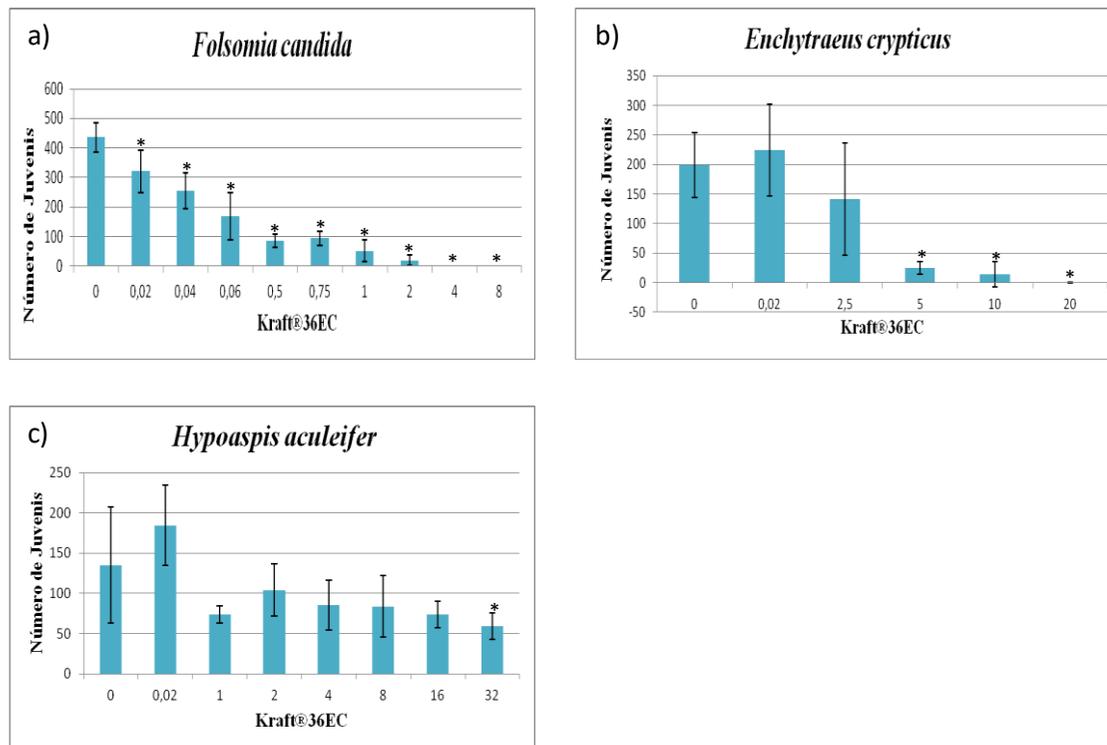
Se a razão entre a Concentração Ambiental Prevista (PEC) e a Concentração de Efeito Prevista (PNEC) resultar em um valor menor que 1 (um), temos V% de certeza de que a concentração de exposição não vai exceder a concentração que causa efeito aos organismos testados no ecossistema em questão. Por sua vez, quando a razão PEC/PNEC resultar em um valor maior que 1, consideramos que o risco sobre a espécie ou ecossistema não é claro e precisa ser mais cuidadosamente investigado. Essa investigação deve ser feita levando em consideração as especificidades de cada caso, portanto, avaliando cada área conforme sua necessidade.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.2 Testes Ecotoxicológicos

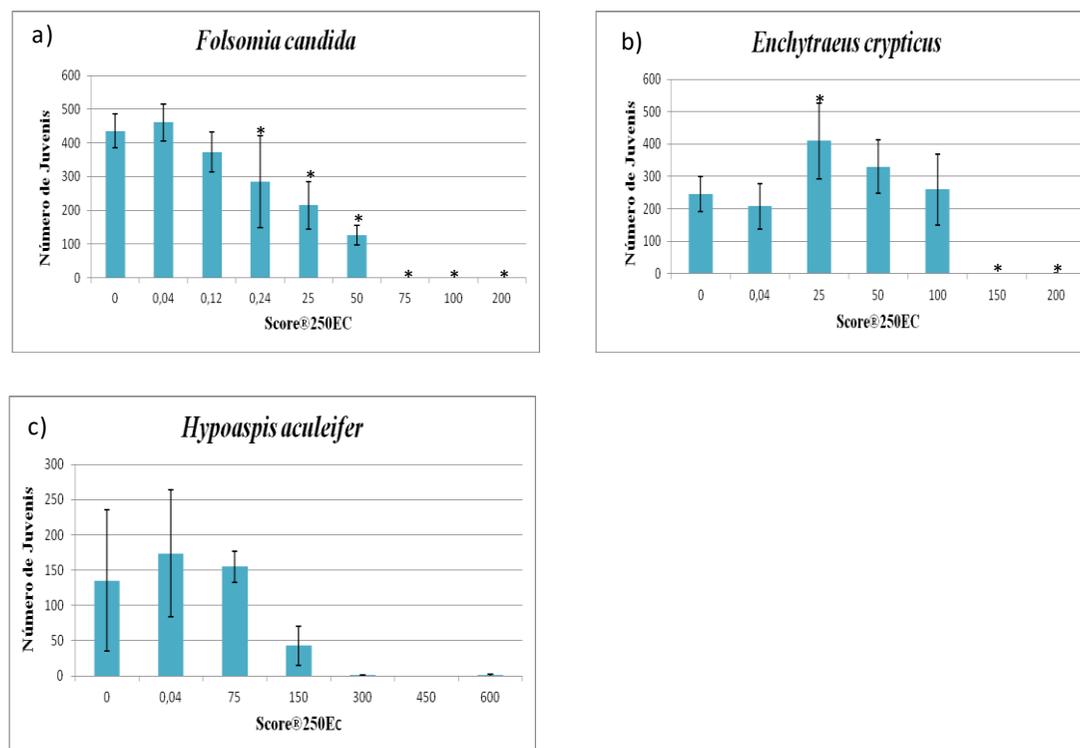
Os resultados obtidos demonstraram uma maior sensibilidade, de todas as espécies testadas, ao inseticida Kraft®36EC quando comparado à exposição ao fungicida Score®250EC, o mesmo foi observado por (MENEZES-OLIVEIRA; BIANCHI; ESPÍNDOLA, 2017) em sua pesquisa. Os organismos mais sensíveis foram os colêmbolos *Folsomia candida* (Figura 2 a) os quais apresentaram redução de 50% no número de juvenis expostos a 3 doses recomendadas do inseticida (0,06 mg abamectina/kg). Os enquitreídeos *E. crypticus* (Figura 2 b) apresentam número de juvenis semelhante no controle e na concentração de uma dose recomendada (0,02 mg/kg), e em concentrações mais altas, 5 mg/kg, nota-se que há redução drástica do número de juvenis. O ácaro *Hypoaspis aculeifer* (Figura 2 c), por sua vez, apresentou a menor sensibilidade tendo sido os efeitos percebidos a partir da concentração de 2 mg abamectina/kg de solo, onde começa a ocorrer uma queda sutil no número de juvenis de *H. aculeifer*. Estes resultados corroboram com os de Nunes (2010), em que se observou uma resposta semelhante na diminuição dos colêmbolos e aumento de ácaros, em testes para avaliar os efeitos da exposição a solo contaminado com Vertimec® 18 EC, produto fitossanitário que apresenta as mesmas funções do Kraft®36EC e também o mesmo ingrediente ativo, sobre índices de diversidade da fauna edáfica.

Figura 2 - Efeitos do Kraft®36EC em solo natural de Bom Repouso, sobre a reprodução do a) colêmbolo *Folsomia candida* b) enquitreídeos *Enchytraeus crypticus* c) ácaro predador *Hypoaspis aculeifer*. Número de juvenis e adultos sobreviventes (média, erro padrão e diferenças significativas) (\* $p < 0,05$ ) após 14 dias de exposição.



Comparando os gráficos da fauna edáfica exposta à contaminação por Score®250EC notamos que para uma dose recomendada nenhum dos organismos teste apresenta diminuição abrupta do número de juvenis, a *F. candida* (Figura 3 a) e *H. aculeifer* (Figura 3 c) apresentam um pequeno efeito positivo destes na menor concentração do Score®250EC, 0,04 mg/kg, enquanto que o enquitreídeo *E. crypticus* (Figura 3 b) apresenta aumento no número de juvenis com uma concentração de 25 mg/kg. O estudo realizado por Vanderlei (2015), para avaliar os efeitos do agrotóxico Score®250EC na comunidade aquática, mostra a mesma tendência dos dados obtidos nessa pesquisa, de forma que o Difenconazol, ingrediente ativo do Score®250EC, mostrou-se pouco tóxico às espécies testadas. Contudo, isso não nos permite afirmar que este produto pode ser usado em altas doses, e não causará efeitos nocivos aos ecossistemas aquático e terrestre, visto que em nenhum dos dois trabalhos foram testadas espécies de fungos.

Figura 3 - Efeitos do Score®250EC em solo natural de Bom Repouso, sobre a reprodução do a) colêmbolo *Folsomia candida* b) enquitreídeos *Enchytraeus crypticus* c) ácaro predador *Hypoaspis aculeifer*. Número de juvenis e adultos sobreviventes (média, erro padrão e diferenças significativas) (\* $p < 0,05$ ) após 14 dias de exposição.



### 3.3 Concentrações de Efeito

Os cálculos das concentrações de efeito para os organismos edáficos utilizados neste trabalho, geraram os dados da tabela 2. Ainda na mesma tabela é possível observar os dados de concentração letal e os valores das Concentrações Previstas de Não Efeito (PNEC).

Tabela 2 - Concentrações de Efeito em (mg i.a. / kg solo) para os agrotóxicos Kraft®36EC e Score®250EC. CENO- Concentração de Efeito Não observada; CEO- Concentração de Efeito Observada; PNEC- Concentrações de Efeito Previsto; CE- Concentração de Efeito a 10, 25 e 50% dos organismos; CL- Concentração Letal a 10 e 50% dos organismos.

		<b>CENO</b>	<b>CEO</b>	<b>PNEC</b>	<b>CE10</b>	<b>CE25</b>	<b>CE50</b>	<b>CL10</b>	<b>CL50</b>
		(mg i.a. /kg)	(mg i.a. /kg)	(mg i.a. /kg)	(mg i.a. /kg)	(mg i.a. /kg)	(mg i.a. /kg)	(mg i.a. /kg)	(mg i.a. /kg)
<b>Kraft®36EC</b>	<i>F.candida</i>	n.d	0,02	2,44x10 <sup>-4</sup>	n.d	<b>0,0122</b>	0,0561	2,21x10 <sup>-2</sup>	6,59x10 <sup>-1</sup>
	<i>E. crypticus</i>	2,5	5	0,023678	<b>1,1839</b>	1,6881	2,4071	2,50	9,13x10 <sup>+1</sup>
	<i>H. aculeifer</i>	16	32	1,738x10 <sup>-3</sup>	<b>0,0869</b>	1,2972	14,0915	3,36x10 <sup>-1</sup>	1,98x10 <sup>+26</sup>
<b>Score®250EC</b>	<i>F.candida</i>	0,12	0,24	9,98x10 <sup>-3</sup>	<b>0,0499</b>	0,3920	3,0748	5,94x10 <sup>-1</sup>	1,28x10 <sup>+76</sup>
	<i>E. crypticus</i>	<b>100</b>	150	2	n.d	n.d	107,1207	6,70x10 <sup>+1</sup>	1,09x10 <sup>+2</sup>
	<i>H. aculeifer</i>	<b>75</b>	150	1,5	129,7326	137,6694	143,8516	6,45x10 <sup>-1</sup>	7,83x10 <sup>+3</sup>

Os valores destacados na tabela foram usados para fazer a derivação das concentrações de efeito previsto (PNEC). Estes valores foram obtidos através da razão da menor concentração de efeito determinada e um fator de avaliação número pré-estabelecido, que varia conforme os níveis de organismos e testes usados no trabalho. No caso, o fator de avaliação usado foi 50, uma vez que foram testados organismos de dois níveis tróficos distintos com testes de reprodução (Tabela 1). A sigla n.d foi usada para valores que não foram determinados pelos cálculos.

Como é possível observar na tabela 2, a *F. candida* (colêmbolo) é o organismo mais sensível ao acaricida Kraft®36EC, apresentando efeitos nocivos para reprodução a 25% dos organismos com uma concentração de 0,0122 mg abamectina/kg, levando em consideração que a dose recomendada pelo fabricante é de 0,02 mg/kg, com apenas uma aplicação do Kraft®36EC efeitos adversos já poderiam ser observados para 25% dos organismos. Recomenda-se que o Kraft®36EC seja aplicado no máximo 3 vezes com intervalos de 7 dias entre cada aplicação, sendo assim, espera-se que o pior cenário para esse produto apresente uma concentração de 0,06 mg/kg. Portanto, se três doses recomendadas fossem aplicadas, mais de 50% dos colêmbolos (*F.candida*) poderiam sofrer efeitos nocivos. Uma vez que o agrotóxico tem função inseticida/acaricida, a sensibilidade dos colêmbolos já era esperada e o que foi uma surpresa, portanto, foi a baixíssima sensibilidade do ácaro *H. aculeifer*. Estes resultados são bastante preocupantes visto que o Kraft®36EC é utilizado na cultura do morango para erradicação do ácaro-rajado *Tetranychus urticae*. Embora não sejam as mesmas espécies de ácaros, esperava-se que os organismos mais sensíveis ao uso do inseticida fosse a espécie de ácaro *H. aculeifer*. Contudo, essa espécie mostrou-se muito resistente ao produto e para atingir metade da população de *H. aculeifer* CE50 seria necessário usar uma concentração de 14,0915 mg/kg, muito maior do que a dose recomendada pelo fabricante de 0,06 mg/kg.

Portanto, é possível notar que organismos não alvo também são afetados pelo uso do fitossanitário, e que se a sensibilidade do ácaro rajado *Tetranychus urticae*, for semelhante a do ácaro *H. aculeifer*, o produto não será eficiente para eliminá-lo se utilizado em doses recomendadas pelo fabricante. E apesar de serem recomendadas doses específicas para cada tipo de cultura, nem sempre elas são seguidas, e isso pode ocasionar impactos sobre algumas populações de organismos mais sensíveis levando a perda de suas funções ecológicas, que podem ser irreversíveis ocasionando um desequilíbrio ecológico. Em entrevista com agricultores do município de Bom Repouso- MG, Nunes (2010) constatou, em 2010, que eram realizadas mais aplicações do Vertimec® 18 EC, acaricida cujo ingrediente ativo também é a abamectina, do que as recomendadas pelo fabricante.

Considerando que o pior cenário, seis doses recomendadas, para o Score®250EC apresentaria no máximo uma concentração de 0,24 mg/kg notamos que nenhum dos organismos testados sofreria efeitos adversos para 50% da população, visto que, a concentração de 3,0748 mg/kg é mais de dez vezes maior que a de seis doses recomendadas e é a concentração onde nota-se efeito para 50% de organismos de *F.candida*.

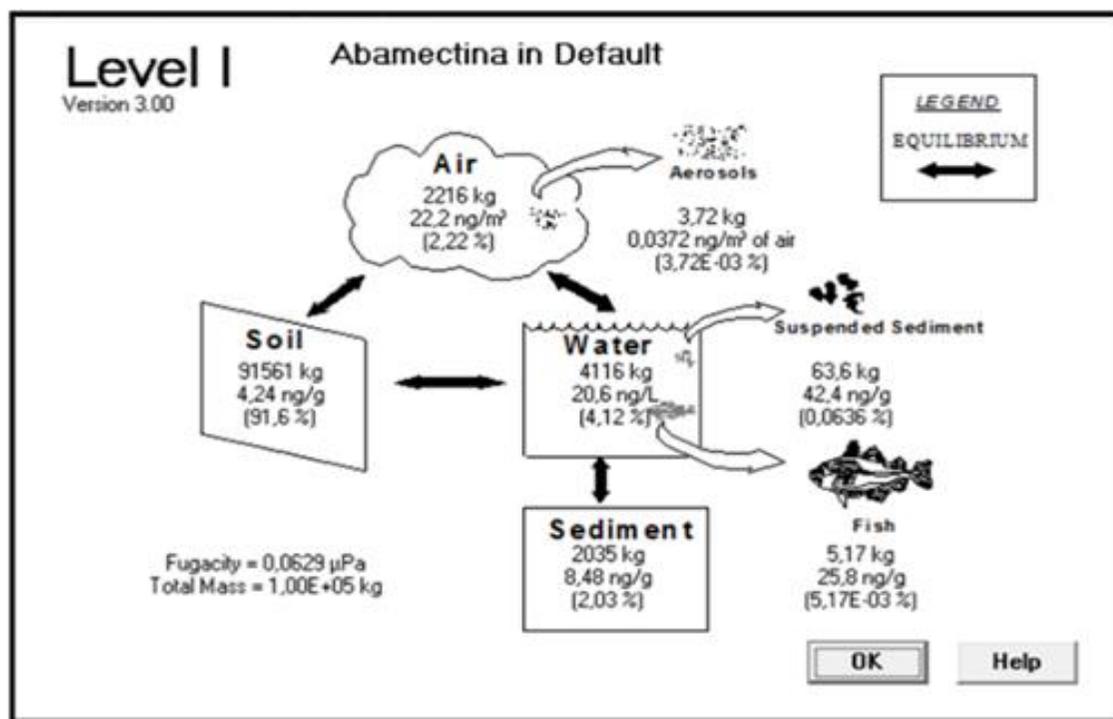
Os valores de concentração letal CL, ou seja, concentração que causa morte nos organismos, foram comparados aos valores de concentração de efeito CE, ambos os resultados se encontram na tabela 2. Observamos que para o Kraft®36EC, a CE<sub>50</sub> da *F.candida* corresponde a 0,0561 mg/kg e a CL<sub>50</sub> para o mesmo organismo é de  $6,59 \times 10^{-1}$  mg/kg, para o acáro predador *H. aculeifer* a CE<sub>50</sub> é de 14,0915 mg/kg e a CL<sub>50</sub>  $1,98 \times 10^{+26}$  mg/kg, o enquitreídeo apresentou 2,4071 mg/kg de CE<sub>50</sub> e  $9,13 \times 10^{+1}$  mg/kg de CL<sub>50</sub>. Para todos os organismos notamos maior sensibilidade dos valores de CE em comparação com os valores de CL, o mesmo ocorreu para o agrotóxico Score®250EC, como pode ser visto a seguir. Para *F.candida* o valor da CE<sub>50</sub> foi 3,0748 mg/kg, e CL<sub>50</sub>  $1,28 \times 10^{+76}$  mg/kg, para o *H. aculeifer* a CE<sub>50</sub> foi 143,8516 mg/kg e CL<sub>50</sub>  $7,83 \times 10^{+3}$  mg/kg, o *E. Crypticus* apresentou 107,1207 mg/kg de CE<sub>50</sub> e  $1,09 \times 10^{+2}$  mg/kg de CL<sub>50</sub>. Testes de longa duração que avaliam a reprodução dos organismos apresentam respostas com maior sensibilidade, como observado para os valores de CE, e testes agudos, de curta duração, são menos sensíveis, como observado para os valores de CL.

De acordo com Alexandre (2015) e Endlweber (2006), diferentes gêneros de colêmbolos podem ser afetados pela adição de agrotóxicos, principalmente por inseticidas, o que corrobora com os dados obtidos nesse estudo, onde o colêmbolo *F. candida* demonstrou ser o organismo mais sensível a ambos os agrotóxicos testados.

### **3.4 Distribuição Ambiental Prevista**

A “fugacidade”, porcentagem de acumulação do contaminante nos compartimentos ambientais, calculada pelo modelo Mackay, foi de 0,0629 µPa para a abamectina, ou seja, este composto apresentou baixa fugacidade. Como pode ser observado na Figura 4, 91,6% deste ingrediente fica retido no compartimento solo e 4,12% vão para a água. As menores proporções são encontradas nos compartimentos ar e sedimento límnic, correspondendo a 2,22% e 2,03%, respectivamente.

Figura 4 - Distribuição ambiental prevista para Abamectina

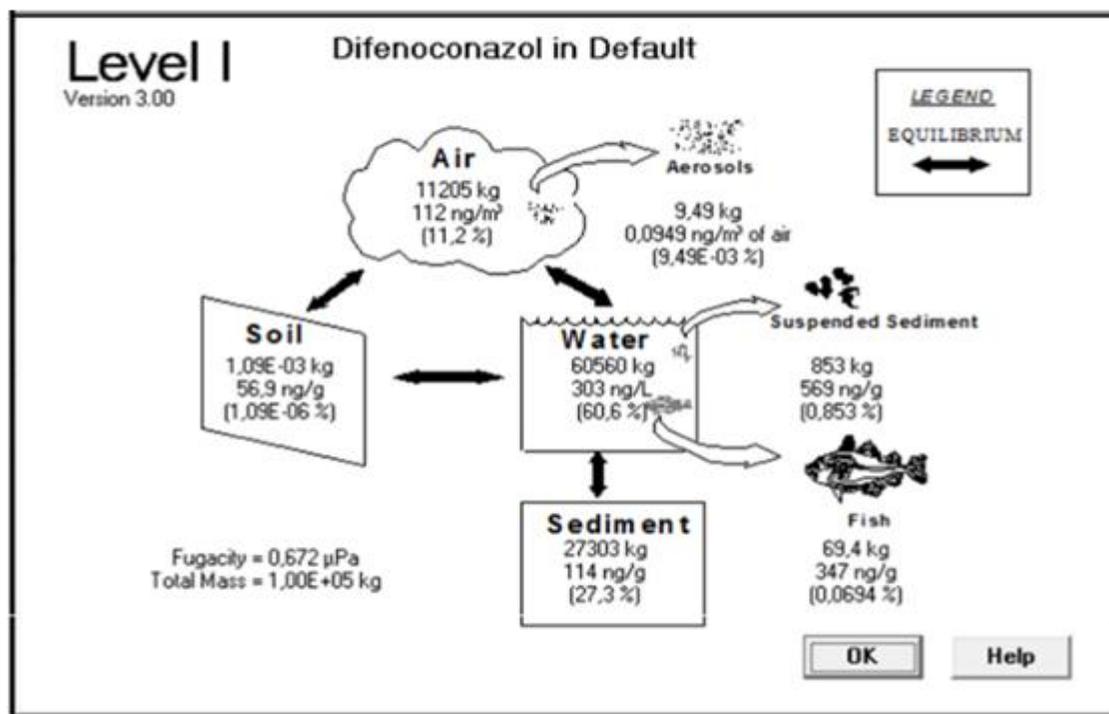


Fonte: Gerada pelo modelo de fugacidade Mackay (1985).

A elevada proporção do ingrediente ativo do Kraft®36EC, a Abamectina no ambiente, demonstra que o produto apresenta baixa fugacidade, ou seja, após sua aplicação na lavoura, temos que 91,6% deste ficarão no compartimento solo, não havendo uma dispersão elevada do produto para os outros compartimentos. Este dado demonstra quão vulnerável um compartimento pode ser devido o uso de um produto fitossanitário, de modo que, quanto maior a probabilidade desse produto em um determinado compartimento, maior sua vulnerabilidade. De acordo com Plese (2005), o cálculo da fugacidade pode ser o melhor meio de quantificar o transporte, bioacumulação e transferência entre os diferentes compartimentos. Ainda segundo Plese (2005), o uso de um modelo matemático que calcula a fugacidade de um agrotóxico auxilia na análise de avaliação de risco para substância no ambiente, e também pode ser usado como guia para monitoramento ambiental. De modo que, os dados gerados pelo modelo de fugacidade nos permitem observar qual o compartimento mais vulnerável ao uso de um determinado agrotóxico, e quais medidas podem ser tomadas a esse respeito.

A fugacidade do difenoconazol, para os compartimentos ambientais calculada pelo modelo Mackay, foi de 0,672 μPa, muito maior do que a observada para Abamectina. Como pode ser observado na Figura 5, 60,6% fica retido no compartimento aquático e 27,3% no sedimento límnic. As menores proporções são encontradas nos compartimentos ar e solo, correspondendo a 11,2% e 1,09. 10<sup>-6</sup>% respectivamente.

Figura 5 - Distribuição ambiental prevista para Difenonazol



Fonte: Gerada pelo modelo de fugacidade Mackay (1985).

A alta fugacidade do Difenonazol, ingrediente ativo do Score®250EC, demonstra que o produto tem uma capacidade de se “espalhar no ambiente” de maneira mais rápida que o Kraft®36EC. Essa dispersão do produto para o ambiente é que determina a porcentagem de exposição a qual cada compartimento está sujeito. A porcentagem obtida para o compartimento solo foi de,  $1,09 \cdot 10^{-6}\%$ , sendo muito baixa em relação à proporção encontrada para o ingrediente ativo do Kraft®36EC, 91,6%.

Apesar do cálculo de fugacidade ser mais uma ferramenta que pode ser usada para a avaliação de risco, temos que usá-lo e interpretá-lo com cautela, pois como já dito anteriormente, muitos dos protocolos e programas usados em ecotoxicologia e avaliação de risco são pensados para ambientes de clima temperado, e não se sabe ao certo quão extrapolados os dados de ambientes tropicais são, quando usamos essas ferramentas. De acordo com Abdel-Lateif et al. (1998), pode haver diferença na toxicidade de diferentes substâncias quando expostas em regiões de clima temperado e tropical.

Os dados obtidos pelo modelo de fugacidade tanto para o Kraft®36EC, quanto para o Score®250EC foram os mesmos encontrados por Vanderlei (2015).

### 3.5 Concentração Ambiental Prevista (PEC)

A estimativa das concentrações que atingiram o compartimento solo geraram os dados dispostos na tabela 3, os valores estão apresentados em mg de ingrediente ativo /kg de solo seco. O cálculo da

Concentração Ambiental Prevista, foi realizado para 1 dose recomendada (1DR) e para máxima dose recomendada de cada agrotóxico, para o Kraft®36EC foram 3 doses recomendadas (3DR) e para o Score®250EC 6 doses recomendadas (6DR), visando representar para ambos produtos o pior cenário.

Tabela 3 - Estimativa das concentrações ambientais previstas (PEC) de Kraft®36EC e Score®250EC.

	1DR (mg i.a. / kg solo)	Máxima dose recomendada (mg i.a. / kg solo)
<b>Kraft®36EC</b>	0,018	0,05496
<b>Score®250EC</b>	$4,36 \times 10^{-10}$	$2,616 \times 10^{-9}$

Para estimar a concentração ambiental prevista foram utilizadas as concentrações de Kraft®36EC e Score®250EC do teste de organismo mais sensível, para cada agrotóxico, afim de que o valor estimado pudesse ser uma boa representação da realidade. O organismo que apresentou maior sensibilidade para os dois produtos foi o colêmbolo *F. candida*.

Levando em consideração que a Concentração Ambiental Estimada para Kraft®36EC vai de 0,018 mg abamectina/kg a 0,05496 mg abamectina/kg, pode-se concluir que se os organismos da espécie *F.candida* estiverem presentes em um ambiente com concentrações máximas recomendadas pelo fabricante, 0,06 mg/kg de Kraft®36EC, teremos efeitos observados para ~50% dos indivíduos dessa espécie, CE<sub>50</sub> 0,0561 mg/kg (Tabela 2). Dessa forma, a concentração que se espera encontrar no compartimento terrestre pode ser elevada, e mesmo seguindo as doses recomendadas do produto fitossanitário na agricultura do morango, a concentração no ambiente seria suficiente para causar efeitos adversos em 50% dos organismos mais sensíveis como a *F.candida*, o que poderia implicar em alterações ecológicas e causar um possível desequilíbrio no ecossistema. Em seu estudo Vanderlei (2015), observou algo semelhante para os organismos aquáticos *Ceriodaphnia dubia* e *Daphnia similis*.

Para o Score®250EC, a concentração ambiental prevista (PEC), variou de  $4,36 \times 10^{-10}$  mg difenoconazol/kg a  $2,616 \times 10^{-9}$  mg difenoconazol/kg e ambos os valores estão muito abaixo das concentrações que causam efeito a nível de 10% em todos os organismos testados (Tabela 2). Com isso, podemos supor que, apesar de o Score®250EC apresentar baixa toxicidade às espécies testadas, não se pode afirmar que ele não oferece risco ao meio ambiente e sim que os organismos testados com este produto, não foram bons representantes para garantir a conservação ambiental. Fato semelhante pode ser observado no estudo realizado por Vanderlei (2015).

### 3.6 Risco ecológico

O cálculo realizado para a Avaliação de Risco Ecológico para o Kraft®36EC, levando em consideração os dados do organismo mais sensível, *F. candida*, e a exposição à máxima concentração permitida (três doses recomendadas - DR) gerou um valor de risco ecológico de aproximadamente 225.

O quociente de risco observado (225) para o inseticida Kraft ao ecossistema terrestre, nas condições testadas, confere risco ecológico. Como visto na subseção 3.2, os dados obtidos corroboram com o trabalho de Nunes (2010) que também foi realizado com abamectina e isto se dá devido ao modo de ação do composto, que atua nos receptores de glutamato e cloreto, bloqueando a execução das principais funções de tais organismos (ROCHA, 2017), que acaba por ser bastante efetivo para micro artrópodes terrestres como o colêmbolo *Folsomia candida*, mesmo estes não sendo o alvo da aplicação. Além disso, em sua pesquisa Lima (2010), observou resquícios do ingrediente ativo, abamectina no solo do município de Bom Repouso. E de acordo com Vanderlei (2015) os valores da concentração ambiental prevista do ingrediente ativo encontrados para o compartimento aquático estão acima do esperado para manter a integridade do ambiente. Embora o valor de risco seja bastante elevado, este trabalho nos dá apenas uma indicação de que o ecossistema solo pode estar em risco quando exposto ao inseticida em questão. Para uma melhor avaliação do ecossistema terrestre como um todo, outros estudos devem ser realizados para avançar com a avaliação de risco ecológico para níveis mais elevados de complexidade e abrangência das relações ecológicas reais existentes (WEEKS; COMBER, 2005)

Uma ferramenta interessante para a ARE a partir de testes que avaliem a toxicidade aguda (mortalidade) e ou crônica (ex.: reprodução) de diferentes contaminantes é a curva de sensibilidade (SSD – *Species Sensitivity Distribution*) (POSTHUMA; SUTER; TRAAS, 2012). Para uma melhor utilização da curva e extrapolação dos resultados obtidos para o ambiente real, é necessário que se utilizem organismos de diferentes níveis tróficos (ao menos 10 organismos no total), ou diversos organismos do mesmo nível, mas que sejam, no entanto, os mais sensíveis para o contaminante em questão.

Com relação ao fungicida SCORE, o valor de quociente de risco observado para a situação de máxima dose recomendada para aplicação em cultura de morango (6 DR) não determina risco ecológico ao ecossistema solo ( $2,6 \times 10^{-7}$ ). No entanto, é preciso ter muita cautela para com a decisão a ser tomada a partir dos dados obtidos. Embora a aplicação do fungicida não tenha culminado em risco ecológico, ressalta-se que os organismos testados podem não ser os mais recomendados para este estudo devido ao modo de ação deste contaminante que inibi a biossíntese do ergosterol, que consiste em manter a estrutura da membrana celular dos fungos (ROCHA, 2017). Em seus trabalhos (ANTONIOLLI et al., 2013; ROCHA, 2017; POLETTI; COLLETTE; OMOTO; 2008 também observaram o não efeito de fungicidas

em colêmbolos, enquitreídeos e ácaros respectivamente. Desta forma, é extremamente necessária a continuação da investigação utilizando principalmente os microrganismos para avaliação da toxicidade.

## 4 CONCLUSÃO

Dada à situação exposta, é possível concluir que a prática de cultivo de morango no município de Bom Repouso pode gerar graves danos ao ecossistema solo, principalmente no que diz respeito à qualidade do solo uma vez que em algumas situações organismos importantes no processo de ciclagem de nutrientes são fortemente afetados. Outros estudos que corroborem com os dados aqui obtidos devem ser realizados e a utilização de espécies mais sensíveis aos modos de ação estudados devem ser priorizadas.

Além disso, outros aspectos como o da geomorfologia e condições climáticas locais, além da prática de aplicação dos agrotóxicos no ambiente (que podem ou não estar sendo feitas conforme recomendações do fabricante), devem ser levados em consideração para uma melhor caracterização do risco ecológico.

Os organismos testes de clima temperado podem apresentar sensibilidade diferente de organismos tropicais (nativos), e usá-los para fazer uma avaliação de risco ecológico e/ou para determinar toxicidade em ambientes que não são de clima temperado pode ocasionar uma extrapolação de dados, e não representar adequadamente as condições que estão ocorrendo no ambiente. Por isso, recomenda-se que sejam estabelecidos novos protocolos para realização de testes ecotoxicológicos com organismos de clima tropical (nativos), para que a resposta dos testes, bem como as avaliações de risco ecológico, sejam adequadas para a representação do cenário brasileiro.

Recomenda-se ainda, que a avaliação de risco ecológico seja amplamente difundida e aplicada no território nacional, buscando melhorar e avançar as pesquisas nesta área. E com isso zelar pela conservação das espécies e por consequência suas funções ecológicas. E que após a investigação e confirmação do risco, ocorra ações mitigadoras para recuperar a área, ou suavizar os impactos causados a ela. Além disso, aconselha-se que ocorra o monitoramento de áreas que já apresentam o risco ecológico, ou que estão situadas em locais suscetíveis a desenvolvê-lo.

## 5 REFERÊNCIAS

- ABDEL-LATEIF, H. M., DONKER, M. H. & VAN STRAALLEN, N. M., 1998, Interaction between temperature and cadmium toxicity in the isopod *Porcellio scaber*. *Funct. Ecol.*, 12: 521-527.
- ALEXANDRE, D; CARNIEL, L. S. C; MALLMANN G. C; SAVI A; KLAUBERG O. F. Efeitos De Clorpirifós Sobre Organismos Da Fauna Edáfica Em Solos Naturais. In Simpósio Internacional Ciência Saúde e Território, 3. 2015, Lages/SC/Brasil. Anais... Lages (SC): Uniplac, 2015. p. 98-103.
- ANTONIOLLI, Z. I. et al. Metais pesados, agrotóxicos e combustíveis: efeito na população de colêmbolos no solo. **Ciência Rural**, v. 43, n. 6, p. 992-998, 2013.
- BIANCHI, M. de O. et al. Importância de estudos ecotoxicológicos com invertebrados do solo. **Embrapa Agrobiologia-Documentos**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica. p. 1-36, 2010.
- ENDLWEBER, K.; SCHÄDLER, M.; SCHEU, S. Effects of foliar and soil insecticide applications on the collembolan community of an early set-aside arable field. *Applied Soil Ecology*, 31:136-146, 2006.
- ESPÍNDOLA, É. A. **Os pesque-pagues da bacia hidrográfica do rio Mogi-Guaçu**: uma análise do perfil socioeconômico e da percepção ambiental de seus usuários. 2008. 147 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.
- FAY, E. F; SILVA, C. M. S. Comportamento e destino de agrotóxicos no ambiente solo-água. In: SILVA, C. M. S; FAY, E. F. **Agrotóxicos e ambiente**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica,. p. 108-143, 2004.
- LEEUWEN, C J. van.; VERMEIRE, Theodorus Gabriel (Ed.). **Risk assessment of chemicals: an introduction**. Dordrecht: Springer Science & Business Media, 2007.
- LIMA, N. C. Avaliação do impacto da contaminação do solo de áreas agrícolas de Bom Repouso (MG) por meio de ensaios ecotoxicológicos. 2010. 124 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.
- MACKAY, D. S. P. **A Model of the Long-Term Fate of Chemical Spills, Report EE-64**, Environment Canada, Ottawa, 1985.
- MAZOYER, M; ROUDART, L. Evolução, Agricultura, História. In:\_\_\_\_\_. **História das agriculturas no mundo**. Do Neolítico à crise contemporânea. São Paulo: Editora UNESP, 2008. p. 53-57.
- MENEZES-OLIVEIRA, V. B; BIANCHI, M. O; ESPÍNDOLA E. L. G. Hazard assessment of the pesticides KRAFT® 36 EC and SCORE® in a tropical natural soil using an ecotoxicological test battery. **Environmental Toxicology & Chemistry**. P. 4-14, 2017.
- NUNES, M. E. T. **Avaliação dos efeitos de agrotóxicos sobre a fauna edáfica por meio de ensaios ecotoxicológicos com *Eisenia andrei* (Annelida, Oligochaeta) e com comunidade natural de solo**. 2010. 151 f. Dissertação (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.
- OCKLEFORD, C. et al. Scientific Opinion addressing the state of the science on risk assessment of plant protection products for in-soil organisms. **Efsa Journal**, v. 15, n. 2, 2017.

OECD, **Test No. 220: Enchytraeid Reproduction Test**, OECD Publishing, Paris, 2004.

OECD, **Test No. 226: Predatory mite (Hypoaspis (Geolaelaps) aculeifer) reproduction test in soil**, OECD Publishing, Paris, 2008.

OECD, **Test No. 232: Collembolan Reproduction Test in Soil**, OECD Publishing, Paris, 2009.

PAGLIARINI, É. C. **Aplicação da análise de risco ecológico (ARE) para avaliação de impactos em ecossistemas aquáticos artificiais (reservatório de Salto Grande, Americana, SP) e naturais (Bom Repouso, MG)**. 2014. 93 f. Trabalho de conclusão de curso (bacharel em engenharia ambiental) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2014.

PARRON, L. M. et al. Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica. **Embrapa Florestas-Livro científico (ALICE)**, 2015.

PLESE, L. P. de M. **Utilização do conceito de fugacidade na previsão do comportamento ambiental do carbosulfan e do carbofuran na cultura do arroz irrigado**. 2005. 146 f. Dissertação (Doutor em Engenharia Agrícola, na área de concentração Água e Solo) - Faculdade de Engenharia Agrícola. Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2005.

POLETTI, M.; COLLETTE, L. de P.; OMOTO, C. Compatibilidade de agrotóxicos com os ácaros predadores *Neoseiulus californicus* (McGregor) e *Phytoseiulus macropilis* (Banks) (Acari: Phytoseiidae). *BioAssay*, v.3, p.1-14, 2008.

POSTHUMA, L.; SUTER, G.W.; TRAAS, T.P. Environmental and ecological Risk Assessment. In: \_\_\_\_\_, **Species Sensitivity Distributions in Ecotoxicology**, [s.l]: Lewis Publishers,. 2012. p 285- 421.

RECHA, May. Guidance on information requirements and chemical safety assessment. **Chapter R.10: Characterisation of dose [concentration]-response for environment**, v. 8, 2008.

ROCHA, A. G. da. **Avaliação dos efeitos dos agrotóxicos Kraft® 36 EC e Score® 250 EC na flora, micro e mesofauna edáficas**. 2017. 105 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

SILVA, M. R. **Gestão de embalagens vazias de agrotóxicos - logística reversa em pequenos municípios brasileiros: o caso do município de Bom Repouso, MG**. 2016. 116 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE PRODUTOS PARA DEFESA AGRÍCOLA – SINDAG. **Dados básicos**, São Paulo: SINDAG 2012. Acesso em março 2017 <<http://www.iea.sp.gov.br/out/LerTexto.php?codTexto=12409>>

VANDERLEI, M. R. **Efeitos dos agrotóxicos Kraft® 36EC e Score® 250EC (e seus princípios ativos) em ecossistemas aquáticos: análises comparativas e ecossistêmicas**. 2015. 194 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

WEEKS, J. M; COMBER, S. D.W. Ecological risk assessment of contaminated soil. **Mineralogical Magazine**, [s.l], vol. 69, p. 601- 613, 2005.