

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**ANÁLISE DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL AOS  
PRINCIPAIS PESTICIDAS RECOMENDADOS PARA OS  
SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE ALGODÃO, ARROZ, CAFÉ,  
CANA-DE-AÇÚCAR, CITROS, MILHO E SOJA**

**CELSO LUIZ DA SILVA**

CAMPINAS

FEVEREIRO DE 2004

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**ANÁLISE DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL AOS  
PRINCIPAIS PESTICIDAS RECOMENDADOS PARA OS  
SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE ALGODÃO, ARROZ, CAFÉ,  
CANA-DE-AÇÚCAR, CITROS, MILHO E SOJA**

Dissertação submetida à banca examinadora para  
obtenção do título de Mestre em Engenharia  
Agrícola na área de concentração em Água e Solo.

**ALUNO: CELSO LUIZ DA SILVA**

**Orientador: Prof. Dr. Luiz Lonardoni Foloni**

CAMPINAS

FEVEREIRO DE 2004

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

Si38a Silva, Celso Luiz da  
Análise da vulnerabilidade ambiental aos principais  
pesticidas recomendados para os sistemas de produção de  
algodão, arroz, café, cana-de-açúcar, citros, milhos e soja /  
Celso Luiz da Silva. --Campinas, SP: [s.n.], 2004.

Orientador: Luiz Lonardoni Foloni  
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas,  
Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Pesticidas – Aspectos ambientais. 2. Produtos químicos  
agrícolas – aspectos ambientais. 3. Impacto ambiental. 4.  
Avaliação de riscos ambientais. 5. Agricultura – aspectos  
ambientais. 6. Análise ambiental. I. Foloni, Luiz Lonardoni. II.  
Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia  
Agrícola. III. Título.

Titulo em Inglês: Environmental vulnerability analysis of the main  
recommended pesticides for cotton, rice, coffee, sugar cane,  
citrus, corn and soybean production systems

Palavras-chave em Inglês: Pesticides environmental aspects, Agricultural  
chemicals – environmental aspects, Environmental  
impact evaluation, Environmental risk assessment,  
Agriculture – environmental aspects,  
Environmental analysis

Área de concentração: Água e Solo

Titulação: Mestre em Engenharia Agrícola

Banca examinadora: Lourival Costa Paraíba, Marcus Barifouse Mattalo

Data da defesa: 27/02/2004

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**ANÁLISE DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL AOS PRINCIPAIS  
PESTICIDAS RECOMENDADOS PARA OS SISTEMAS DE  
PRODUÇÃO DE ALGODÃO, ARROZ, CAFÉ, CANA-DE-AÇÚCAR,  
CITROS, MILHO E SOJA**

CELSO LUIZ DA SILVA

**Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:**

Prof. Dr. Luiz Lonardoní Foloni

Presidente e Orientador / Faculdade de Engenharia Agrícola - Unicamp

Prof. Dr. Lourival Costa Paraíba

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) - Meio Ambiente

Dr. Marcus Barifouse Mattalo

Departamento de Plantas Daninhas do Instituto Biológico de Campinas

Campinas, 27 de fevereiro de 2004

*A minha esposa Luciana Mattiazzi Diniz,  
pelo amor, compreensão, paciência  
e incentivo*

***DEDICO***

*A minha mãe Alice Marcolina de Jesus*

***OFEREÇO***

## **AGRADECIMENTOS**

- Dr. Luiz Lonardoní Foloni, pela orientação, dedicação, conhecimentos transmitidos, paciência e amizade;
- Dr. Lourival Costa Paraíba, da EMBRAPA - Meio Ambiente de Jaguariúna-SP, pela colaboração na orientação de pontos específicos, pela sugestão do tema proposto na tese, pela amizade e pelas sugestões;
- Dr. Marcus Barifouse Mattalo, do Departamento de Plantas Daninhas do Instituto Biológico de Campinas, pelas inestimáveis sugestões e amizade;
- MSc Luís Pedro de Melo Plese, pela inestimável colaboração na condução dos estudos dos produtos avaliados;
- Ao Departamento de Água e Solo da Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI) da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), pela possibilidade da realização do Curso de Mestrado;
- A Hokko do Brasil-Indústria Química e Agro-Pecuária Ltda, pelo incentivo na execução do trabalho e pela permissão para realizar o Curso de Mestrado;
- Aos Srs. Takashi Kavavata e Paulo N. Yamauti, Diretores da Hokko do Brasil pela amizade, compreensão e suporte para realização deste Curso;
- Ao MSc João M. Miyasaki, gerente do Departamento de Pesquisa e Desenvolvimento da Hokko do Brasil pela compreensão, amizade, paciência e suporte para realização deste Curso;
- Aos Engenheiros Agrônomos Almir José Peretto, Eros Molina Occhiena, Issamu Ouchi e Luís G. Gonella Rodrigues, coordenadores da Hokko do Brasil pela compreensão e colaboração e amizade;
- A Sra Neide Valentim Gugliano, secretária do Departamento de Pesquisa e Desenvolvimento da Hokko do Brasil pela compreensão e paciência;
- Aos Professores Doutores Mariângela Amêndola, Jose Teixeira Filho, Maria Ângela Fagnani, Raquel Gonçalves, Mara de Andrade Marinho Weill, Edson Eiji Matsura do Departamento de Água e Solo da Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI) da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), pela colaboração e sugestões na realização deste trabalho;

- As funcionárias Ana Paula Montagner, Rosangela Gomes, Marta Aparecida Rigonatto Vechi do curso de Pós-Graduação da FEAGRI pelo suporte e amizade dada durante todo o transcorrer do Curso;
- Aos meus familiares e amigos que sempre me incentivaram nesta caminhada;

## SUMÁRIO

|                                                                                                    | páginas           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| <b>LISTA DE FIGURAS.....</b>                                                                       | <b>x-xiii</b>     |
| <b>LISTA DE TABELAS.....</b>                                                                       | <b>xiv</b>        |
| <b>RESUMO.....</b>                                                                                 | <b>xv-xvi</b>     |
| <b>ABSTRACT.....</b>                                                                               | <b>xvii-xviii</b> |
| <b>1 INTRODUÇÃO</b>                                                                                |                   |
| <b>1.1 JUSTIFICATIVA.....</b>                                                                      | <b>1-2</b>        |
| <b>1.2 OBJETIVOS.....</b>                                                                          | <b>2</b>          |
| <b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>                                                                     |                   |
| <b>2.1 CULTURAS</b>                                                                                |                   |
| <b>2.1.1 Algodão.....</b>                                                                          | <b>3-5</b>        |
| <b>2.1.2 Arroz.....</b>                                                                            | <b>5-7</b>        |
| <b>2.1.3 Café.....</b>                                                                             | <b>7-8</b>        |
| <b>2.1.4 Cana-de-açúcar.....</b>                                                                   | <b>8-10</b>       |
| <b>2.1.5 Citros.....</b>                                                                           | <b>10-11</b>      |
| <b>2.1.6 Milho.....</b>                                                                            | <b>12-13</b>      |
| <b>2.1.7 Soja.....</b>                                                                             | <b>13-14</b>      |
| <b>2.2 PESTICIDAS.....</b>                                                                         | <b>14-28</b>      |
| <b>2.3 MODELO MATEMÁTICO.....</b>                                                                  | <b>29-30</b>      |
| <b>2.4 IMPACTO AMBIENTAL DOS PESTICIDAS.....</b>                                                   | <b>31-38</b>      |
| <b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b>                                                                        |                   |
| <b>3.1 PARÂMETROS E EQUAÇÕES PARA CÁLCULO DO NÍVEL DE FUGACIDADE.....</b>                          | <b>39-43</b>      |
| <b>3.2 ESTÁDIOS FENOLÓGICOS DAS DIFERENTES CULTURAS COM OS RESPECTIVOS PESTICIDAS RECOMENDADOS</b> | <b>44</b>         |
| <b>3.2.1 Algodão.....</b>                                                                          | <b>45-46</b>      |
| <b>3.2.2 Arroz.....</b>                                                                            | <b>47-48</b>      |
| <b>3.2.3 Café.....</b>                                                                             | <b>49-50</b>      |
| <b>3.2.4 Cana-de-açúcar.....</b>                                                                   | <b>51-52</b>      |
| <b>3.2.5 Citros.....</b>                                                                           | <b>53-54</b>      |

|                                                                                    |       |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 3.2.6 Milho.....                                                                   | 55-56 |
| 3.2.7 Soja.....                                                                    | 57-58 |
| 3.3 VALORES DAS CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS DOS PESTICIDAS.....                | 59-60 |
| <b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>                                                    |       |
| <b>4.1 FUGACIDADE DOS PESTICIDAS RECOMENDADOS PARA A CULTURA DO ALGODÃO</b>        |       |
| 4.1.1 Fungicidas.....                                                              | 61-62 |
| 4.1.2 Inseticidas.....                                                             | 62-64 |
| 4.1.3 Herbicidas.....                                                              | 65-66 |
| 4.1.4 Acaricidas.....                                                              | 66-67 |
| <b>4.2 FUGACIDADE DOS PESTICIDAS RECOMENADOS PARA A CULTURA DO ARROZ</b>           |       |
| 4.2.1 Fungicidas.....                                                              | 67-68 |
| 4.2.2 Inseticidas.....                                                             | 68-69 |
| 4.2.3 Herbicidas.....                                                              | 69-70 |
| <b>4.3. FUGACIDADE DOS PESTICIDAS RECOMENDADOS PARA A CULTURA DO CAFÉ</b>          |       |
| 4.3.1 Fungicidas.....                                                              | 71-73 |
| 4.3.2 Inseticidas.....                                                             | 73-75 |
| 4.3.3 Herbicidas.....                                                              | 75-76 |
| 4.3.4 Acaricidas.....                                                              | 77    |
| <b>4.4 FUGACIDADE DOS PESTICIDAS RECOMENDADOS PARA A CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR</b> |       |
| 4.4.1 Fungicidas.....                                                              | 77-78 |
| 4.4.2 Inseticidas.....                                                             | 78-79 |
| 4.4.3 Herbicidas.....                                                              | 79-81 |
| <b>4.5 FUGACIDADE DOS PESTICIDAS RECOMENDADOS PARA A CULTURA DO CITROS</b>         |       |
| 4.5.1 Fungicidas.....                                                              | 81-82 |
| 4.5.2 Inseticidas.....                                                             | 82-84 |

|                                                                                            |                |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| <b>4.5.3 Herbicidas.....</b>                                                               | <b>84-85</b>   |
| <b>4.5.4 Acaricidas.....</b>                                                               | <b>86</b>      |
| <b>4.6 FUGACIDADE DOS PESTICIDAS RECOEMNDADOS PARA A<br/>CULTURA DO MILHO</b>              |                |
| <b>4.6.1 Fungicidas.....</b>                                                               | <b>86-88</b>   |
| <b>4.6.2 Inseticidas.....</b>                                                              | <b>88-90</b>   |
| <b>4.6.3 Herbicidas.....</b>                                                               | <b>90-91</b>   |
| <b>4.7 FUGACIDADE DOS PESTICIDAS RECOMENDADOS PARA A<br/>CULTURA DA SOJA</b>               |                |
| <b>4.7.1 Fungicidas.....</b>                                                               | <b>92-93</b>   |
| <b>4.7.2 Inseticidas.....</b>                                                              | <b>93-95</b>   |
| <b>4.7.3 Herbicidas.....</b>                                                               | <b>95-97</b>   |
| <b>4.8 DISTRIBUIÇÃO EM ORDEM DECRESCENTE DOS 10<br/>PRINCIPAIS PESTICIDAS.....</b>         | <b>98-103</b>  |
| <b>4.9 DISTRIBUIÇÃO DOS PESTICIDAS EM ORDEM ALFABÉTICA<br/>SEGUNDO O CRITERIO GUS.....</b> | <b>103-107</b> |
| <b>5 CONCLUSÕES.....</b>                                                                   | <b>108</b>     |
| <b>REFERÊNCIAS.....</b>                                                                    | <b>109-116</b> |

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                      | <b>páginas</b> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| <b>Figura 1</b> - Principais fatores que determinam a disponibilidade para a planta                                                                                                  | <b>16</b>      |
| <b>Figura 2</b> - Diagrama esquemática mostrando os prováveis mecanismos pelos quais o conteúdo de água influencia a atividade do pesticida no solo                                  | <b>17</b>      |
| <b>Figura 3</b> - Comportamento do pesticida no ambiente.....                                                                                                                        | <b>24</b>      |
| <b>Figura 4</b> - Diagrama esquemática mostrando as seis etapas do gerenciamento de risco                                                                                            | <b>33</b>      |
| <b>Figura 5</b> - Gerenciamento de risco para possibilitar a redução do perigo potencial                                                                                             | <b>34</b>      |
| <b>Figura 6</b> - Interrelação dentro de uma análise de risco e a quem compete sua responsabilidade                                                                                  | <b>35</b>      |
| <b>Figura 7</b> - A avaliação do risco e as análises de risco/benefício como parte de desenvolvimento dos produtos fitossanitários e do processo de registro                         | <b>36</b>      |
| <b>Figura 8</b> - Diagrama do padrão mundial de fugacidade representada pelas unidades dos compartimentos ambientais (ar, água, solo, sedimento, folha, caule, raiz e a biota).....  | <b>41</b>      |
| <b>Figura 9</b> - Estádios fenológicos da cultura do algodão.....                                                                                                                    | <b>45</b>      |
| <b>Figura 10</b> - Estádios fenológicos da cultura do arroz.....                                                                                                                     | <b>47</b>      |
| <b>Figura 11</b> - Estádios fenológicos da cultura do café.....                                                                                                                      | <b>49</b>      |
| <b>Figura 12</b> - Estádios fenológicos da Cultura da Cana-de-açúcar.....                                                                                                            | <b>51</b>      |
| <b>Figura 13</b> - Estádios fenológicos da cultura do citros.....                                                                                                                    | <b>53</b>      |
| <b>Figura 14</b> - Estádios fenológicos da cultura do milho.....                                                                                                                     | <b>55</b>      |
| <b>Figura 15</b> - Estádios fenológicos da cultura da soja.....                                                                                                                      | <b>57</b>      |
| <b>Figura 16</b> - Diagramas da distribuição dos fungicidas pelos vários compartimentos ambientais estudados na cultura do algodão após a aplicação do Modelo de Mackay (1991).....  | <b>61-62</b>   |
| <b>Figura 17</b> - Diagramas da distribuição dos inseticidas pelos vários compartimentos ambientais estudados na cultura do algodão após a aplicação do Modelo de Mackay (1991)..... | <b>63-64</b>   |
| <b>Figura 18</b> - Diagramas da distribuição dos herbicidas pelos vários                                                                                                             |                |

|                                                                                                                                                                                             |       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| compartimentos ambientais estudados na cultura do algodão após a aplicação do Modelo de Mackay (1991).....                                                                                  | 65-66 |
| <b>Figura 19</b> - Diagramas da distribuição do acaricida pelos vários compartimentos ambientais estudados na cultura do algodão após a aplicação do Modelo de Mackay (1991).....           | 67    |
| <b>Figura 20</b> - Diagramas da distribuição dos fungicidas pelos vários compartimentos ambientais estudados na cultura do arroz após a aplicação do Modelo de Mackay (1991).....           | 68    |
| <b>Figura 21</b> - Diagramas da distribuição dos inseticidas pelos vários compartimentos ambientais estudados na cultura do arroz, após a aplicação do Modelo de Mackay (1991).....         | 69    |
| <b>Figura 22-</b> Diagramas da distribuição dos herbicidas pelos vários compartimentos ambientais estudados na cultura do arroz, após a aplicação do Modelo de Mackay (1991).....           | 70    |
| <b>Figura 23</b> - Diagramas da distribuição dos fungicidas pelos vários compartimentos ambientais estudados na cultura do café, após a aplicação do Modelo de Mackay (1991).....           | 71-73 |
| <b>Figura 24</b> - Diagramas da distribuição dos inseticidas pelos vários compartimentos ambientais estudados na cultura do café, após a aplicação do Modelo de Mackay (1991).....          | 73-75 |
| <b>Figura 25</b> - Diagramas da distribuição dos herbicidas pelos vários compartimentos ambientais estudados na cultura do café após a aplicação do Modelo de Mackay (1991).....            | 76    |
| <b>Figura 26</b> - Diagramas da distribuição do acaricida pelos vários compartimentos ambientais estudados na cultura do café, após a aplicação do Modelo de Mackay (1991).....             | 77    |
| <b>Figura 27</b> - Diagramas da distribuição dos fungicidas pelos vários compartimentos ambientais estudados na cultura da cana-de-açúcar, após a aplicação do Modelo de Mackay (1991)..... | 78    |
| <b>Figura 28</b> - Diagramas da distribuição dos inseticidas pelos vários compartimentos ambientais estudados na cultura da cana-de-açúcar, após a                                          |       |

|                                                                                                                                                                                             |       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| aplicação do Modelo de Mackay (1991).....                                                                                                                                                   | 79    |
| <b>Figura 29</b> - Diagramas da distribuição dos herbicidas pelos vários compartimentos ambientais estudados na cultura da cana-de-açúcar, após a aplicação do Modelo de Mackay (1991)..... | 80-81 |
| <b>Figura 30</b> - Diagramas da distribuição dos fungicidas pelos vários compartimentos ambientais estudados na cultura do citros, após a aplicação do Modelo de Mackay (1991).....         | 82    |
| <b>Figura 31</b> - Diagramas da distribuição dos inseticidas pelos vários compartimentos ambientais estudados na cultura do citros, após a aplicação do Modelo de Mackay (1991).....        | 83-84 |
| <b>Figura 32</b> - Diagramas da distribuição dos herbicidas pelos vários compartimentos ambientais estudados na cultura do citros, após a aplicação do Modelo de Mackay (1991).....         | 85    |
| <b>Figura 33</b> - Diagramas da distribuição dos acaricidas pelos vários compartimentos ambientais estudados na cultura do citros, após a aplicação do Modelo de Mackay (1991).....         | 86    |
| <b>Figura 34</b> - Diagramas da distribuição dos fungicidas pelos vários compartimentos ambientais estudados na cultura do milho, após a aplicação do Modelo de Mackay (1991).....          | 87-88 |
| <b>Figura 35</b> - Diagramas da distribuição dos inseticidas pelos vários compartimentos ambientais estudados na cultura do milho, após a aplicação do Modelo de Mackay (1991).....         | 88-90 |
| <b>Figura 36</b> - Diagramas da distribuição dos herbicidas pelos vários compartimentos ambientais estudados na cultura do milho, após a aplicação do Modelo de Mackay (1991).....          | 91    |
| <b>Figura 37</b> - Diagramas da distribuição dos fungicidas pelos vários compartimentos ambientais estudados na cultura da soja, após a aplicação do Modelo de Mackay (1991).....           | 92-93 |
| <b>Figura 38</b> - Diagramas da distribuição dos inseticidas pelos vários compartimentos ambientais estudados na cultura da soja, após a aplicação do Modelo de Mackay (1991).....          | 94-95 |

|                                                                                                                                                                                   |              |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| <b>Figura 39</b> - Diagramas da distribuição dos herbicidas pelos vários compartimentos ambientais estudados na cultura da soja, após a aplicação do Modelo de Mackay (1991)..... | <b>96-97</b> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                                                                    | páginas |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| <b>Tabela 1</b> - Pesticidas recomendados durante o ciclo da cultura do algodão.....                                                                               | 46      |
| <b>Tabela 2</b> - Pesticidas recomendados durante o ciclo da cultura do arroz.....                                                                                 | 48      |
| <b>Tabela 3</b> - Pesticidas recomendados durante o ciclo da cultura do café.....                                                                                  | 50      |
| <b>Tabela 4</b> - Pesticidas recomendados durante o ciclo da cultura da cana-de-açúcar.....                                                                        | 52      |
| <b>Tabela 5</b> - Pesticidas recomendados durante o ciclo da cultura do citros.....                                                                                | 54      |
| <b>Tabela 6</b> - Pesticidas recomendados durante o ciclo da cultura do milho.....                                                                                 | 56      |
| <b>Tabela 7</b> - Pesticidas recomendados durante o ciclo da cultura da soja.....                                                                                  | 58      |
| <b>Tabela 8</b> - Valores das características físico-químicas dos pesticidas estudados..                                                                           | 59-60   |
| <b>Tabela 9</b> – Distribuição em ordem decrescente dos 10 pesticidas que mostraram maior preferência em concentrar nos diferentes compartimentos ambientais.....  | 98      |
| <b>Tabela 10</b> – Distribuição em ordem decrescente dos 10 pesticidas que mostraram maior preferência em concentrar nos diferentes compartimentos ambientais..... | 99      |
| <b>Tabela 11</b> – Distribuição dos pesticidas analisados pelo potencial de lixiviação, segundo o critério de Goundwater Ubiquity Score -GUS.....                  | 103-105 |

# **ANÁLISE DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL AOS PRINCIPAIS PESTICIDAS RECOMENDADOS PARA OS SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE ALGODÃO, ARROZ, CAFÉ, CANA-DE-AÇÚCAR, CITROS, MILHO E SOJA.**

## **RESUMO**

A utilização de pesticidas na agricultura é uma prática necessária no controle de pragas, doenças ou de plantas daninhas para se atingir altos índices de produtividade e conseguir desta forma atender a demanda crescente de alimentos. Alguns destes pesticidas aplicados podem apresentar propriedades físico-químicas perigosas, seja ao ambiente e aos próprios seres vivos, podendo causar danos ambientais e problemas de saúde ao homem. Muitas vezes isto ocorre devido à falta de estudos sobre o comportamento e destino destes produtos no ambiente e estudos toxicológicos. Uma ferramenta importante para procurar evitar estes tipos de danos são os modelos matemáticos que permitem antecipar para o qual ou quais compartimentos esta molécula tende a caminhar e também, auxiliar no desenvolvimento de pesquisa no campo, diminuindo os gastos e esforços. O objetivo deste projeto foi utilizar um modelo matemático de fugacidade (nível) I na análise de risco do comportamento, como auxílio na avaliação preliminar da distribuição ambiental, dos principais pesticidas registrados junto ao Ministério da Agricultura, usados e aplicados de acordo com as recomendações de seus fabricantes, nos sistemas de produção convencional e plantio direto, nas principais culturas brasileiras: algodão, arroz, café, cana-de-açúcar, citros, milho e soja. A metodologia utilizada foi baseada nas fórmulas matemáticas descritas por Mackay (1991). Como resultados, foram selecionados os 10 produtos que mais se distribuíram nos compartimentos ambientais (ar, água, solo, sedimento, biota, folhas das plantas, caule e raiz) aqui apresentados em ordem decrescente de preferência. Estes pesticidas foram para o compartimento ar: acetochlor> disulfuton> acephate> thiodicarb> quinclorac> thiram> tolifluanid> pendimenthalin> trifluralin> endosulfan; para a água: nicosulfuron> metsulfuron methyl> monocrotofós> bispyribac sodium> metamidofós> thiamethoxam> halosuluron methyl> chlorimuron etílico> imazapic> imidacloprid; para o solo: diquat> paraquat> hexythiazox> parathion metil> benomyl> tiofanato metílico> msma> iprodione> epoxiconazole> propargite; para o sedimento: diquat> paraquat> hexythiazox> parathion metil> benomyl> tiofanato metílico> msma> iprodione> epoxiconazole> propargite; para a biota: propanil> acetochlor> disulfuton> pendimenthalin> bifenthrin> carboxin> endosulfan> clorpirifós> tolyfluanid> thiram; para a folha: aldicarb> fluazifop-p-butil> metconazole> diflubenzuron> tolyfluanid> disulfuton> fludioxonil> difenoconazole> acetochlor> tebuconazole;

para a raiz e caule: lambdacyhalothrin> zetacypermethrin> cypermethrin> alfacipermetrina> bifenthrin> acrinathrin> permethrin> lactofen> betacyflutrin> chlorfluazuron. Os pesticidas estudados também foram comparados pelo critério de GUS (índice de vulnerabilidade de águas subterrâneas). Os produtos que apresentaram potencial de lixiviação em ordem alfabética foram: acetochlor, aldicarb, atrazina, bispiribac-sodium, carbendazim, carbofuran, clorimuron, etílico, cyproconazole, difenoconazole, fipronil, flumioxazin, fomezafen, hexazinone, imazapic, imazaquim, imazetapir, metalacoloro, metomyl, metribuzin, metsulfuron-methyl, monocrotofós, nicosulfuron, quinclorac, simazine, tebuthiuron, thiamethoxam e triclofon. As conclusões deste trabalho permitiram verificar que o compartimento ambiental que apresentou maior vulnerabilidade na preferência da distribuição dos pesticidas foi o compartimento água. A avaliação preliminar do risco de contaminação por pesticidas de uma área agrícola pode ser feita a partir das características físico-químicas dos pesticidas utilizando o modelo de fugacidade Mackay nível I (1991). Este modelo pela simplicidade e rapidez nas respostas mostra ser uma excelente ferramenta, como fator de decisão na utilização do pesticida. O critério de GUS também se apresentou como mais um mecanismo para ser utilizado quando não se dispõe de todas as informações, como tomada de decisão na escolha da utilização de um pesticida visando monitorar ou até mesmo impedir a contaminação de águas subterrâneas.

# **ENVIRONMENTAL VULNERABILITY ANALYSIS OF THE MAIN RECOMMENDED PESTICIDES FOR COTTON, RICE, COFFEE, SUGAR-CANE, CITRUS, CORN AND SOYBEAN PRODUCTION SYSTEMS**

## **ABSTRACT**

The utilization of pesticides in agriculture is a necessary practice to control pests, diseases or weeds to reach an excellent index of productivity and get attend the increasing necessity of food. Some of this pesticides applied, show dangerous physical-chemical proprieties to the environmental and health human. Many times it happen because we haven't enough studies of the toxicity and behavior or destination of pesticides in the environmental. One of important tool to try avoid this type of damage are the mathematics models, which permit anticipated for which behavior of this molecule tend walk and also help in the development of field research reduce expense and effort.

The goal of this project was use a mathematics calculus based on mathematics models of fugacity level 1, which help in the analysis of risk the main environmental behavior of all pesticides, registered in the Ministry of Agriculture, used and applied according to the recommendation of manufactures pesticides industry (WIN FIT; 2000), at the system of conventional production, and no till system of cotton, rice, coffee, sugar-cane, citrus, corn and soybean cultivation. The utilized methodology was mathematics formula describe by Mackay (1991) to figure out of fugacity ( $f$ , Pa), capacity of fugacity ( $Z$ ,  $\text{mol m}^{-3} \text{ Pa}^{-1}$ ), concentration ( $C$ ,  $\text{g mol}^{-1}$ ) in the compartment air, water, soil, sediment, biota, leaves, root, stem of plant. It was used the physical-chemical parameters to each pesticides applied to each culture studied (cotton, rice, sugar-cane, coffee, citrus, corn and soybean) with data of each compartment: volume ( $\text{m}^3$ ), fraction organic (%) and density ( $\rho$ ,  $\text{g m}^{-3}$ ) got from the Mackay (1991). As the results of mathematics calculus it were chose the 10 products which were more distributed in the compartment environmental present such as following the preference, where from the air compartment: acetochlor> disulfuton> acephate> thiodicarb> quinclorac> thiram> tolifluanid> pendimenthalin> trifluralin> endosulfan; from the water compartment: nicosulfuron> metsulfuron-methyl> monocrotofos> bispyribac-sodium> metamidofos> thiamethoxam> halosuluron methyl> chlorimuron etílico> imazapic> imidacloprid; from the soil compartment: diquat> paraquat> hexythiazox> parathion metil> benomyl> tiofanato metílico>msma>iprodione> epoxiconazole> propargite; from the sediment compartment:

diquat> paraquat> hexythiazox> parathion metil> benomyl> tiofanato metílico> msma> iprodione> epoxiconazole> propargite; from the biota compartment: propanil> acetochlor> disulfoton> pendimethalin> bifenthrin> carboxin> endosulfan> clorpirifós> tolyfluanid> thiram; from the leave compartment: aldicarb> fluazifop-p-butyl> metconazole> diflubenzuron> tolyfluanid> disulfoton> fludioxonil> difenoconazole> acetochlor> tebuconazole; from the trunk and root compartments: lambda-cyhalothrin> zeta-cypermethrin> cypermethrin> alfacipermetrina> bifenthrin> acrinathrin> permethrin> lactofen> beta-cyfluthrin> chlorfluazuron. The pesticides studied too were also by the GUS (Groundwater Ubiquity Score) where the index is calculated through the half-life value of the compound on the soil and coefficient of adsorption and organic tissue of the soil. The products that showed leachability potential by GUS alphabetical order were: acetochlor, aldicarb, atrazina, bispyribac sodium, carbendazim, carbofuran, chlorimuron, etilico, cyproconazole, difenoconazole, fipronil, flumioxazin, fomezafen, hexazinone, imazapic, imazaquim, imazetapir, metalachlor, metomyl, metribuzin, metsulfuron-methyl, monocrotophos, nicosulfuron, quinclorac, simazine, tebuthiuron, thiamethoxam and trichlorfon. In conclusion, the environmental compartment showed more vulnerability in the preference of pesticide distribution in the compartment water. The preliminary evaluation of risk contamination in agriculture area by pesticides can be made based on physical-chemical pesticide characteristics used in the fugacity model Mackay level 1 (1991). This fugacity model Mackay level 1 (1991) is an excellent tool to be used as a factor of decision in the pesticides use. The GUS criteria showed itself as one more mechanism to be used due to the lack of information, as decision making skill in choice of a pesticide utilization aiming monitoring or even though avoiding groundwater contamination.

# **1. INTRODUÇÃO**

## **1.1 JUSTIFICATIVA**

A utilização de pesticidas na agricultura é uma prática necessária no combate de pragas, doenças ou de plantas daninhas para se atingir altos índices de produtividade e conseguir desta forma, alimentar a população mundial. A aplicação destes produtos vem crescendo a cada ano a partir dos anos 60, em que foi iniciada a revolução verde por NORMAN BOURLANG.

Alguns destes pesticidas apresentam propriedades físico-químicas perigosa sejam para o ambiente e para os próprios seres vivos, podendo causar danos ambientais e problemas de saúde ao homem. Muitas vezes isto ocorre devido à falta de estudos sobre o comportamento e destino dos agrotóxicos no ambiente e estudos toxicológicos.

Deve se considerar que todo produto desenvolvido para matar fungos, insetos e plantas daninhas, é em principio venenoso e, portanto requerem cuidados no seu manuseio, aplicação e observação dos cuidados para não deixarem resíduos tóxicos. Os testes e todos os estudos que precedem pleito de registro são desenvolvidos com o objetivo de fornecer informação às autoridades que concedem em cada país, ou estado, bem como sua forma de uso. Entretanto, à dinâmica destes produtos em cada compartimento da biosfera, é difícil de prever, tendo as limitações físicas dos próprios testes. Assim quando os produtos são utilizados em larga escala, os fatores de multiplicação dos riscos aumenta, e problemas podem ocorrer. Deve-se recordar ainda, que no início do desenvolvimento da “Agricultura Química” os objetivos eram controlar os alvos. Posteriormente foram levantados os problemas com a saúde e só recentemente (1978) foi iniciado o movimento com relação ao meio ambiente.

Por muitos anos, principalmente nos países desenvolvidos, a informação sobre a distribuição de substâncias químicas no meio ambiente e o seu destino nos diversos compartimentos, foram registros de casos observados. Com esta base de dados, foram criados os modelos para predição de periculosidade e destino.

Antes da preocupação com o meio ambiente, muitos produtos foram utilizados em larga escala, com sérios problemas de meia vida muito longa, os quais mostraram-se problemáticos tanto para o homem como para o ambiente, como foi o caso dos organoclorados.

Uma ferramenta importante para procurar evitar estes tipos de danos é a predição através de modelos matemáticos, os quais permitem antecipar, com boa margem de precisão para o qual ou quais compartimentos esta molécula tende a caminhar. Este conhecimento pode também auxiliar no desenvolvimento de pesquisa no campo, diminuindo os gastos e esforços despendidos. Com estas informações prévias advindas destes modelos e a comprovação através de experimento de campo ajudam a confirmar o comportamento e destino ambiental de determinado pesticida, podendo-se partir de modelos globais ir para modelos específicos a determinadas regiões ou locais.

No Brasil essa prática ainda é tímida, principalmente pela ausência de um banco de dados que tenha informações sobre os pesticidas no ambiente, em seus diversos compartimentos, para que se possa, desenvolver os modelos já preconizados ou em última análise a criação de novos.

Mesmo existindo vários modelos matemáticos disponíveis na literatura, o do conceito de fugacidade embora simples é praticamente inexistente em nosso país.

Considerando que a prevenção é a forma mais eficaz e de menor custo, a aplicação de um modelo matemático deste tipo, pelo menos no nível I, pode dar boas indicações para minimizar os riscos dos agrotóxicos, bem como direcionar pesquisas nesta área.

## **1.2 OBJETIVOS**

O objetivo deste projeto foi o de utilizar o modelo de fugacidade nível I, como forma auxiliar na avaliação preliminar da distribuição comportamento ambiental de alguns dos principais pesticidas registrados junto ao Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, usados e aplicados de acordo com a recomendação de seus fabricantes (WIN FIT, 2000), nos sistema de produção convencional e plantio direto nas culturas de: algodão, arroz, café, cana-de-açúcar, citros, milho e soja.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Culturas**

#### **2.1.1 Algodão**

A cultura do algodão (*Gossypium hirsutum* L.) no Brasil é realizada em duas regiões bastante distintas, a setentrional (Norte e Nordeste) e a meridional (Estados de São Paulo, Paraná, Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso do Sul e partes de Mato Grosso e Bahia). O algodoeiro cultivado no Estado de São Paulo é de ciclo anual, pertencente à família Malvaceae, arbusto que atinge, em condições normais, 100 a 160 cm de altura. Produz fibra de comprimento médio (30 a 32 mm), para uso têxtil e, além disso, oferece numerosas possibilidades de uso para seus subprodutos, notadamente o óleo e a torta provenientes das sementes.

Os solos: excluídas as regiões litorâneas e excetuados, nas demais, os solos rasos e os de acentuada acidez, assim como as glebas sujeitas a encharcamento ou com excessivo declive, o algodoeiro pode ser cultivado em praticamente todos os solos encontrados no território paulista.

A época de plantio: sob condições pluviais normais, o período mais recomendável, no Estado de São Paulo, é de 1º a 31 de outubro. Havendo escassez ou atraso de chuvas, pode-se ampliá-lo até 20 de novembro, principalmente na Região Oeste do Estado.

Para o controle de pragas e doenças: medidas profiláticas como o arrancamento e queima dos restos da cultura, plantio na época recomendada e em período reduzido, uso de cultivar adequado, rotação de culturas; controle químico: normalmente 4 a 7 aplicações de produtos, sistêmicos (nas sementes, no solo ou pulverizados), de contato e ingestão, na fase inicial, e de contato, ingestão e biológico (feromônios e outros) nas fases posteriores da cultura, de acordo com as principais pragas da região e sua ocorrência, e seguindo as recomendações dos órgãos da Secretaria da Agricultura e Abastecimento. Ocorrendo bicudo, o número de pulverizações com inseticidas necessárias podem atingir 10 a 12. Contra doenças e nematóides, empregar cultivares resistentes ou tolerantes. Utilizando menores quantidades de sementes e tratá-las com fungicidas para o controle da doença “tombamento”. A

produtividade, dependendo do solo e do nível tecnológico adotado, varia de 1.500 a 2.800 kg ha<sup>-1</sup> de algodão em caroço. Culturas com bom nível tecnológico podem produzir até 3.500 kg ha<sup>-1</sup> ou mais (CHIAVEGATO et al., 1998).

A cotonicultura no Brasil consolidou sua recuperação, em termos de produção e até mesmo de inserção nos mercados internacionais, no ano de 2001. Depois de chegar a ser um dos maiores importadores mundiais da fibra, volta a exportar volume significativo, superando a marca de 160 mil toneladas de pluma em 2001.

Esse reconhecimento da cotonicultura no Brasil teve muitos componentes, mas certamente a transformação tecnológica e do sistema produtivo do algodão como um todo foi um dos mais importantes, na medida em que permitiu ao produto nacional recuperar sua competitividade. Esta se acha baseada em alta qualidade de fibra e em um dos menores custos de produção do mundo, só perdendo provavelmente para os da Austrália e do Paquistão. A explosão da cultura do algodão no centro-oeste e em certas regiões do norte e nordeste do Brasil representou a migração da cultura para novas áreas, as quais, livres de certas pragas e doenças e com clima mais favorável, permitiram certas vantagens competitivas, em relação às áreas tradicionais. Representou também uma profunda mudança nos paradigmas básicos da cultura, na medida em que se alteraram totalmente sua escala, o sistema de produção e o processo administrativo.

Todas essas mudanças podem ser evidenciadas pelo fato de o algodão brasileiro ser na atualidade responsável pela quase totalidade do abastecimento da indústria têxtil nacional. Efetivamente, em 1995, segundo a Bolsa Mercadorias & Futuro, apenas 74,3% das necessidades das indústrias têxteis paulista e de 39,6% das necessidades das indústrias cearenses eram atendidos pela produção nacional. Já em 2000, segundo a mesma fonte, esses percentuais evoluíram para respectivamente 91,1% e 70,9%, figurando o Mato Grosso como o maior fornecedor, com larga vantagem sobre os demais estados. Contudo, é forçoso reconhecer que talvez todas aquelas mudanças sejam insuficientes para sustentar o crescimento da produção, quando for necessário contar também com os mercados internacionais.

Realmente, se o algodão brasileiro, como se disse, revela alta qualidade e um dos menores custos de produção do mundo (quase a metade dos custos dos Estados Unidos, os maiores exportadores do mundo), resulta, no entanto, insuperável o fato de que o produtor norte-americano

recebe quase 5 dólares por arroba vendida no exterior, como forma de subsídio, através das várias políticas de estímulo e sustentação de preços.

Enquanto a produção nacional crescia apenas para ocupar espaço no mercado interno e o fez com eficiência, era previsível que tal ocorresse sem maiores dificuldades. Entretanto, à medida que a produção nacional necessitasse ocupar espaços no mercado internacional, passaria a estar de novo às voltas com o enorme aparato de subsídios e barreiras protecionistas, que o mundo inteiro coloca para os produtos agropecuários.

Visto o mercado sob este prisma, são altamente positivas iniciativas como as do governo da Bahia. Este, seguindo os passos do governo do Mato Grosso, pretende com o Programa de Incentivo à Cultura do Algodão no Centro Baiano (Proalba) estimular a cotonicultura em sua região Oeste, de forma a tornar o estado o segundo maior produtor brasileiro de fibra. Pretende-se estimular a expansão, tornando por base princípios de eficiência produtiva, ou seja, mediante a combinação de baixos custos com elevada qualidade de fibra. O programa prevê investimentos em pesquisa para elevar a produtividade, com o desenvolvimento de novos cultivares e tecnologia de controle de pragas e doenças.

Há outras iniciativas, inclusive com a criação de novas cooperativas, que estão instalando equipamentos sofisticados para a classificação eletrônica da pluma, e que devem gerar programas de qualidade e agregar valor ao algodão. Tais iniciativas apontam para a manutenção das vantagens competitivas do produto brasileiro nos mercados internacionais, conservando sua competitividade e mantendo a viabilidade da atividade no longo prazo (FNP, 2002).

### **2.1.2 Arroz**

A cultura do arroz (*Oryza sativa* L.) é uma planta anual, monocotiledônea e da família *Gramineae* (*Poaceae*). Pode ser cultivada sob diferentes sistemas, ou seja: o arroz irrigado: em várzeas sistematizadas ou arroz de terras baixas, permite controle de irrigação mediante lâmina d'água; em São Paulo, corresponde a cerca de 10% da área plantada, abrangendo sobre tudo o Vale do Paraíba e do Ribeira; (b) arroz de sequeiro: ou terras altas, depende exclusivamente de precipitações pluviais, ou de irrigação correspondendo a 90% do arroz cultivado.

A época de semeadura do arroz de sequeiro e irrigado é em meados de setembro a meados de dezembro. Os melhores resultados vêm de plantios em outubro-novembro. A produtividade normal é 3,5-7,5 t ha<sup>-1</sup> de arroz irrigado e 1000 a 3000 kg ha<sup>-1</sup> de sequeiro (BASTOS et al., 1998).

A cultura do arroz é um dos cereais mais cultivado do mundo, constituindo a base da alimentação de mais da metade da população mundial, sendo para alguns povos, especialmente na Ásia alimento de sobrevivência (PEREIRA, 1973)

O arroz é uma cultura que demanda a utilização do controle químico no combate de plantas daninhas e de doenças, pois é uma planta muito vulnerável ao ataque das mesmas.

O excesso de oferta, que tem caracterizado o mercado do arroz no Brasil e no Mercosul, vai paulatinamente recuando e já permite que esse mercado caminhe, ainda que à passos lentos, para um maior equilíbrio.

Na safra 1999/00, a produção no Mercosul recuou cerca de 900 mil toneladas e, embora ainda acima do consumo do bloco, já representou um excesso menor do que o das safras imediatamente anteriores.

Os elevados estoques que se formaram nas mãos do governo federal continuaram representando para o setor uma ameaça, pois podem deprimir os preços exatamente no momento em que os produtores poderiam alcançar preços mais remuneradores.

O mercado, trabalhando agora sem o excesso de oferta, que ameaçava a sobrevivência de todo o setor, permite buscar, com calma, modos de levar a cadeia agro-industrial do arroz a um novo patamar de equilíbrio econômico sustentado, que permita a todos os seus segmentos lucrar e prosperar. Esses modos incluem a redução de custo, inclusive dos industriais, que diante de um processo de concentração tendem a ganhar escala e eficiência, e a ampliação do consumo interno e dos mercados de exportação.

O Rio Grande do Sul é o principal produtor brasileiro de arroz irrigado, responsável por 51,40% da produção nacional do grão. É significativa a expressão do produto no estado, entendendo-se por que os sucessos e fracassos da atividade têm reflexos diretos na economia gaúcha e na vida de importantes parcelas de sua população.

Os custos praticados atualmente na lavoura de arroz irrigado no Rio Grande do Sul apontam para uma situação em que o produtor precisa constantemente buscar o aumento da produtividade, combinando com uma diminuição dos gastos, visando reduzir o custo final do saco de arroz produzido.

Observa-se a necessidade de profissionalização de todos os setores da empresa orizícola, ressaltando-se a importância da valorização da equipe de trabalho, mediante treinamento constante e participação nos resultados. Busca-se, pois, aliar um maior compromisso de todos e o aumento da produtividade individual. Esse e outros aspectos relacionados com a gerência da empresa devem ser exaustivamente trabalhados para a obtenção de melhores resultados (FNP, 2002).

### 2.1.3 Café

O café (*Coffea arabica* L.) planta perene de porte arbustivo, pertencente à família Rubiaceae, produtora de frutos tipo baga, encerrando, normalmente, duas sementes que representam o seu produto econômico. Estas, depois de convenientemente processadas, são consumidas na forma de infusão. Dotada de aroma e sabor característicos, a bebida é nutritiva e estimulante.

A cultura é mais adaptada a clima ameno, subtropical, com temperatura média entre 18 e 22°C e deficiência hídrica inferior a 150 mm anuais. No Estado de São Paulo, essas condições são encontradas acima de 400 m de altitude ao sul do paralelo 22° e 500 m ao norte desse paralelo. Atualmente, o café é cultivado com sucesso em vários tipos de solo, inclusive nos de cerrado com a correção de acidez e fertilidade. Os solos devem ter profundidade mínima de 1 metro e boa drenagem.

A época de semeadura: de abril a outubro, no viveiro e a produção normal é de 1.500 a 3.000 kg de café beneficiado por hectare (FAZUOLI, 1998).

O café é uma planta muito sensível ao ataque de insetos, plantas daninhas e doenças, por isso demanda a utilização de produtos fitossanitários para manter a produtividade.

O mercado de café apresenta um desequilíbrio acentuado entre a oferta e a demanda, devido ao aumento da produção em diversos países nos últimos anos.

Após a última crise acentuada do setor, no ano de 1992, a relação entre a produção e o consumo revela certo equilíbrio de mercado. A partir do ano safra 1999/2000, contudo a diferença entre a oferta e o consumo se tornou francamente discrepante. Tal desequilíbrio se deveu ao aumento mundial desordenado da cultura, em face dos preços atraentes da *commodity* no mercado internacional no período de 1995 a 2000. Esse aumento do cultivo só veio a refletir-se

expressivamente no ano de 2001 pelo fato de a cultura do café demorar mais de três anos para apresentar produção significativa.

A cultura do café é muito sensível ao manejo cultural e qualquer diminuição de defensivos ou fertilizantes provoca quebras diretas no volume de produção. Além desse movimento natural de redução do manejo cultural, o elo produtivo da cadeia também sofrerá um processo migratório da cafeicultura para outras atividades agrícolas alternativas.

Já o consumo mundial tende a continuar apresentando crescimento gradativo, que varia entre 1% e 5%, no período compreendido pela análise. A melhora natural do poder aquisitivo do consumidor como um todo deverá fazer crescer o consumo da bebida. Igualmente os programas de *marketing*, desenvolvidos pelos países produtores, entre eles o Brasil, deverão ser um recurso importante para dar continuidade a esse esforço de aumento do consumo e abrir novos mercados potenciais, ainda inexplorados. A qualidade da bebida é de suma importância para que esse crescimento tenha continuidade.

A cafeicultura brasileira também foi fortemente influenciada pelos altos preços alcançados pelo commodities em meados dos anos 1990. Assim como a maior parte dos países produtores, o Brasil iniciou um processo de expansão e renovação contínua das lavouras. Além do crescimento da produção, a cafeicultura brasileira também apresentou evolução tecnológica, o que contribuiu para sua maior produtividade. O sistema de adensamento das lavouras, muito comum hoje, é um exemplo da tecnificação do setor. A técnica se aprimorou no decorrer dos últimos anos e permitiu que o número de plantas se expandisse muito mais do que a própria área de cultivo.

Enquanto a área cultivada aumentou 10% do total, o número de plantas cresceu mais de 61%. Foram mais 2,4 bilhões de plantas no parque cafeeiro nacional entre 1995 e 2000. Atualmente o total de plantas cultivadas no país é da ordem de 6,3 bilhões, ante 3,9 bilhões de plantas no início do período. Essa enorme expansão do cultivo, juntamente com a substituição de lavouras velhas, fez com que o parque cafeeiro se renovasse significativamente (FNP, 2002).

#### **2.1.4 Cana-de-açúcar**

A cana-de-açúcar (*Sccharum spp.*) pertence à família Poaceae (Gramineae) e sua origem geográfica é atribuída ao Sudoeste Asiático, Java, Nova Guiné e também a Índia. Inicialmente foi

cultivada a espécie *Saccharum officinarum* L. e com o passar do tempo, cultivares desta espécie sofreram problemas de doenças e adaptação ecológica, e foram substituídas pelos híbridos interespecíficos do gênero *Saccharum*. Atualmente a cana-de-açúcar, além de produzir açúcar, álcool e aguardente, tem os subprodutos bagaço, vinhaça e torta de filtro de grande importância socioeconômica na geração de energia, produção de ração animal, produtos aglomerados, fertilizantes, etc.

A época de plantio: (1) sistema de ano e meio – de janeiro a março; (2) sistema de ano – outubro a novembro; (3) plantio de outono – de abril a junho (desde que haja disponibilidade de água e uso de matéria orgânica). O primeiro é o mais indicado para cana industrial, o segundo e o terceiro são usados na complementação do primeiro. No caso de forrageiras, o segundo é o mais indicado.

O controle das principais doenças e pragas tais como: mosaico: é realizado pelo “roguing” e uso de variedades resistentes. A ferrugem através de variedades resistentes e manejo de corte para variedades com resistência intermediária; para o carvão e amarelinho: “roguing” e uso de variedades resistentes ou tolerantes; raquitismo: flambagem dos podões e tratamento térmico; escaldadura: “roguing” e uso de variedades tolerantes; broca da cana: controle biológico com manejo integrado da broca e parasitas; e *Migdolus*: controle químico, biológico e destruição mecânica dos focos da infestação.

A produtividade: varia em função do potencial edafoclimático do local. Regiões como Ribeirão Preto e Jaú, apresentam a média de 85000 kg ha<sup>-1</sup> em cinco cortes. Em produção inferior a 55000 kg ha<sup>-1</sup>, recomenda-se reforma do canavial (FIGUEIREDO et al., 1998).

O surpreendente aumento do plantio de cana-de-açúcar, ocorrido no Brasil no ano de 2001, foi decisivo para mudar radicalmente as perspectivas para o mercado mundial de açúcar nos próximos anos. A reação foi fruto do aumento da rentabilidade da indústria sucro-alcooleira, em um momento em que seus principais concorrentes na disputa por terras no Sudeste brasileiro estavam com sua rentabilidade em baixa.

Já a mudança dos produtores de grãos e de bovinos para a cana baseou-se em fatores puramente econômicos apesar de não estarem tendo prejuízo com sua atividade, a rentabilidade por hectare aferida pela cana-de-açúcar era muito superior.

Além da grande competitividade brasileira na produção de açúcar, refletida em seus baixos custos de produção, quando comparados com os de outros exportadores mundiais – o que

por si só já seria motivo mais que suficiente para trazer otimismo ao setor, a perspectiva de exportação de álcool anidro para os Estados Unidos, Coréia do Sul e Japão é outro fator que incentiva muito os investimentos na área nos últimos anos.

Além disso, especula-se que nos outros países (europeus e asiáticos) devem seguir o exemplo norte americano, para ampliar assim o mercado mundial do álcool etílico. Caso essas expectativas venham a concretizar-se, a expansão dos canaviais brasileiros não será tão deletéria para o mercado mundial do açúcar, uma vez que o mercado de álcool carburante tem potencial para ser dezenas de vezes maiores do que o de açúcar (FNP, 2002).

### 3.1.5 Citros

Os citros são plantas perenes, com 4 a 6 m de altura, da família Rutaceae, nativas do Sudeste Asiático, vegetam e produzem satisfatoriamente em regiões com as mais variadas condições de clima e solo. Os frutos podem ser utilizados para o consumo ao natural e para industrialização, de onde são obtidos diferentes produtos processados, como sucos, óleos essenciais, pectina e rações.

As laranjas (*Citrus sinensis* Osbeck) compreendem o grupo dominante das frutas cítricas em todos os países, exceto talvez naqueles do Sudeste Asiático onde as tangerinas são preferidas. Atualmente, as laranjas compõem cerca de dois terços da produção mundial de citros. Entre as variedades de laranjas cultivadas, encontram-se aquelas sem acidez: Lima, Lima Verde e Piralima.

A época de plantio adequado é no período das chuvas ou fora deste somente com irrigação. A produtividade: para laranjas e pomelo variam entre 150 a 300 kg planta<sup>-1</sup>; para tangerinas e tangor varia de 200 a 250 kg planta<sup>-1</sup>; para limas ácidas e limões varia de 150 a 200 kg planta<sup>-1</sup> (MATTOS JUNIOR et al., 1998).

A cultura dos citros também é uma cultura muito vulnerável ao ataque de doenças, plantas daninhas e insetos, demandando assim a necessidade da realização da aplicação de pesticidas para manter e até mesmo para obter a produção.

Em 2001 o Brasil colheu a menor safra de laranjas dos últimos dez anos. A descapitalização dos produtores, associada aos efeitos das secas de 1999 e 2000, foi a principal

responsável pelo ocorrido. Paralelamente problemas sanitários crescentes contribuíram para que a erradicação de árvores atingisse quantidade recorde.

A descapitalização dos produtores foi consequência de vários anos de preços baixos, provocados pelas supersafras de 1997 e 1999. O grande erro do setor ocorreu em 1997, quando as indústrias tomaram a decisão desastrosa de fazer uma moagem recorde.

Como consequência desses prejuízos, no período muitos contratos de compra de fruta entre indústrias e produtores foram descumpridos. Com isso, a descapitalização, que atingiu todo o setor nos anos seguintes, se refletiu no fechamento de indústrias e em menores tratamentos dos pomares pelos produtores. Esses tratamentos piorados provocaram um aumento exagerado de doenças, como cancro e a CVC (amarelinho) e a menor produtividade dos pomares. A produtividade mais reduzida se deveu ao menor uso de insumos, aos ataques de doenças e principalmente à menor renovação de pomares. Em 1999, 2000 e 2001 plantaram-se, em média, 9,5 milhões de pés por ano, enquanto nos anos anteriores os plantios tinham sido da ordem de 14 milhões por ano.

A erradicação de plantas também foi recorde no triênio compreendido entre 1999 e 2001. Estima-se que os pomares tenham sido reduzidos em aproximadamente 23 milhões de árvores e a maior parte dessa redução ocorreu por migração dos produtores para outras culturas mais rentáveis. Calcula-se que somente entre 2000 e 2001 a cana-de-açúcar tenha invadido 80 mil hectares de antigos laranjais no estado de São Paulo.

A forte ofensiva de compra de frutas realizada pela indústria durante o ano de 2001, quando a maioria dos contratos foi firmada para os próximos três anos com um preço médio variando entre US\$ 2,50 e US\$ 3,00  $\text{cx}^{-1}$ , serviu para capitalizar novamente os produtores e permitir que voltassem a investir nos tratamentos culturais dos pomares.

Pelo lado da demanda, o fato novo foi o crescimento do consumo de suco de laranja industrial no Brasil (concentrado ou pasteurizado) e o crescimento do consumo de suco pasteurizado (NFC), em detrimento do concentrado (FCOJ) nos países desenvolvidos.

O consumo do mercado interno que variam entre 50 e 60 milhões de caixas. O volume cresce à medida que o preço da fruta está mais baixo e o poder aquisitivo da população, mais alto.

Os tratamentos fitossanitários na cultura dos citros representam uma parcela significativa no custo de produção, exigindo do empresário citrícola bases técnicas e científicas para a decisão criteriosa de uso do insumo agrícola com eficiência garantida e menor custo (FNP, 2002).

### 2.1.6 Milho

O milho (*Zea mays* L.) espécie da família Gramineae, originária do México, é uma cultura anual, com 1,50 a 3,00 m de altura no florescimento, cultivada no verão e outono (safrinha) no estado de São Paulo, em solo bem drenado, da qual se utiliza o grão para o consumo ou toda a planta, no caso da silagem. O consumo pode ser feito tanto na propriedade como na indústria para extração de óleo, fabricação de alimentos e rações, podendo ainda ser utilizado como milho verde.

A época de plantio: milho (grão e silagem): safra de verão: outubro a dezembro; safrinha: (1) janeiro e fevereiro, com tolerância até 15 de março: para as DIRAS de São José do Rio Preto, Barretos, Araçatuba, Bauru, Presidente Prudente, Ribeirão Preto, Franca e mais a Delegacia Agrícola de Mococa (DIRA de Campinas); (2) janeiro a março: para as DIRAS do Vale do Paranapanema, Marília, Campinas (com exceção de Mococa), São José dos Campos, São Carlos e Registro; (3) janeiro e fevereiro para a DIRA de Sorocaba, e (4) até 31 de janeiro para as Delegacias Agrícolas de Capão Bonito e Itararé. Milho verde: agosto e setembro e dezembro a março, com irrigação suplementar; março a julho, com irrigação em regiões de maior temperatura no inverno (com exceção do Vale do Ribeira).

A produtividade normal para o milho grão na safra de verão, situa-se entre 6000 a 8000 kg ha<sup>-1</sup>; e na safrinha entre 2000 a 3000 kg ha<sup>-1</sup>. No milho silagem entre 20000 a 30000 kg ha<sup>-1</sup> de massa verde; no milho verde entre 8000 a 10000 kg ha<sup>-1</sup> de espigas (SAWAZAKI et al., 1998).

A cultura do milho necessita para a obtenção de maior produtividade da utilização de pesticidas, pois é uma planta muito vulnerável ao ataque de insetos e plantas daninhas.

Os solos pobres e arenosos do cerrado exigem um pacote tecnológico mínimo, sem o qual não há como iniciar qualquer tipo de exploração agropecuária neles. Em outras palavras, sem correção de acidez, sem mecanização e sem uso de fertilizantes químicos não há como dar partida à produção de grãos no cerrado. Entretanto, com o passar dos anos as produções são crescentes, uma vez que o acúmulo de matéria orgânica e os resíduos das safras anteriores enriquecem física, química e biologicamente esses solos, principalmente em áreas onde se adota o sistema de plantio direto.

Nos solos de floresta ocorre o contrário, a alta fertilidade natural dos solos virgens, que no início permite a produção agrícola sem o uso de insumos modernos e sem mecanização, vai sendo

depauperada pela erosão e passa a exigir um volume cada vez maior de insumos e de mecanização para manter a produtividade.

Como o clima, topografia e a altitude nas regiões de cerrado costumam mostrarem-se mais favoráveis para a obtenção de altas produtividades de culturas anuais e o maior tamanho das propriedades possibilitam maiores ganhos de escala, a tendência é de que com o passar dos anos seus custos de produção acabem sendo menores do que nas regiões de floresta.

Dessa forma, para que a produção de milho no cerrado seja bem sucedida é preciso respeitar o fato de que os paradigmas que prevalecem nessa região são diferentes daqueles que prevalecem nas regiões de terras férteis do Sul e do Sudeste.

O ideal é que a cultura de milho nos solos de cerrado seja rotacionada com a soja. Várias são as vantagens técnicas dessa rotação. Uma delas é que os resíduos da cultura da soja podem fornecer boa parte do nitrogênio e do potássio exigidos pelo milho. Outra é que a rotação favorece o controle de plantas daninhas e pragas, que prejudicam ambas as culturas. A adoção destas técnicas possibilita que, os custos de produção do milho sejam menores, porque os resíduos aproveitados pela cultura sucessora propiciam a obtenção de altas produtividades com menor uso de insumos. O mesmo acontece com a soja, cujos custos são reduzidos pelo menor uso de inseticidas e herbicidas. A maior eficiência no uso do maquinário também contribui para reduzir os custos de produção, uma vez que permite que cada colhedora trabalhem mais horas por ano (FNP, 2002).

### **2.1.7 Soja**

A soja (*Glycine max* (L.) Merril) é plantada de ciclo anual (90 a 160 dias), de porte ereto, de crescimento determinado ou indeterminado, e com altura variável (45 a 120 cm), dependendo do cultivar e da época de semeadura. Numa mesma propriedade, é recomendável o cultivo de genótipos de três ciclos diferentes para uma maior eficiência na utilização de maquinário e mão-de-obra e para minimizar as perdas por riscos climáticos, em fases críticas (enchimento de grãos e maturação); ou a semeadura de cultivares de mesmo ciclo, mas com período juvenil, em épocas diferentes (15 a 45 dias).

A produtividade: em condições normais, o rendimento de grãos varia de 2.200 a 3.000 kg ha<sup>-1</sup> (MIRANDA et al., 1998).

A cultura da soja hoje representa para o Brasil um dos principais produtos agrícolas destinados a exportação. Sendo uma planta susceptível aos danos provocados por insetos, doenças e plantas daninhas acaba necessitando da aplicação de pesticidas, para manter a produtividade.

A produtividade brasileira tende a crescer, indicou-se que, ao longo do tempo, a cultura da soja no cerrado apresenta uma curva de produções crescente (graças ao enriquecimento, físico, químico e biológico do solo), e do lançamento de cultivares adaptados às condições edafoclimáticas regionais de forma que as produtividades iniciais de 30 sacas por hectare saltam para 50 sacas por volta do quinto ano e para 60 sacas próximo ao décimo. O reconhecimento desse fato leva a inferir que, a produtividade média brasileira que já é a maior do mundo, deverá continuar crescendo de modo acelerado nos próximos anos. A explicação é que essa media ainda reflete uma proporção relativamente alta de áreas novas de cultivo de baixa produtividade, uma vez que a abertura do cerrado para soja ainda é recente. Contudo, nos próximos anos, tenderá a crescer a proporção de áreas com vários anos de cultivo, em relação às áreas de cultivo inicial. Ou seja, a media ponderada de produtividades tende a deslocar-se cada vez mais em direção à produtividade das áreas de produção mais antigas (FNP, 2002).

## **2.2 Pesticidas**

Existe uma celeuma em relação ao próprio nome dado aos produtos utilizados no controle de pragas, doenças e plantas daninhas na agricultura. Segundo as indústrias produtoras dos produtos químicos para este fim, denomina-os de produtos fitossanitários ou defensivos agrícolas, pois são produtos destinados para o controle das pragas agrícolas, objetivando maiores produções. Por ocasião da promulgação da lei específica (Lei Federal – 7802 de 11/07/89) (BRASIL, 1989) sobre o tema no Brasil, instituiu-se o termo agrotóxico (ZAMBOLIM, 2003). Internacionalmente, porém o termo mais utilizado é o pesticida, que segundo ART (1998), pesticidas são substâncias usadas para matar ou controlar organismos nocivos ou destrutivos (Inseticidas, herbicidas, germinicidas, fungicidas e raticidas são pesticidas).

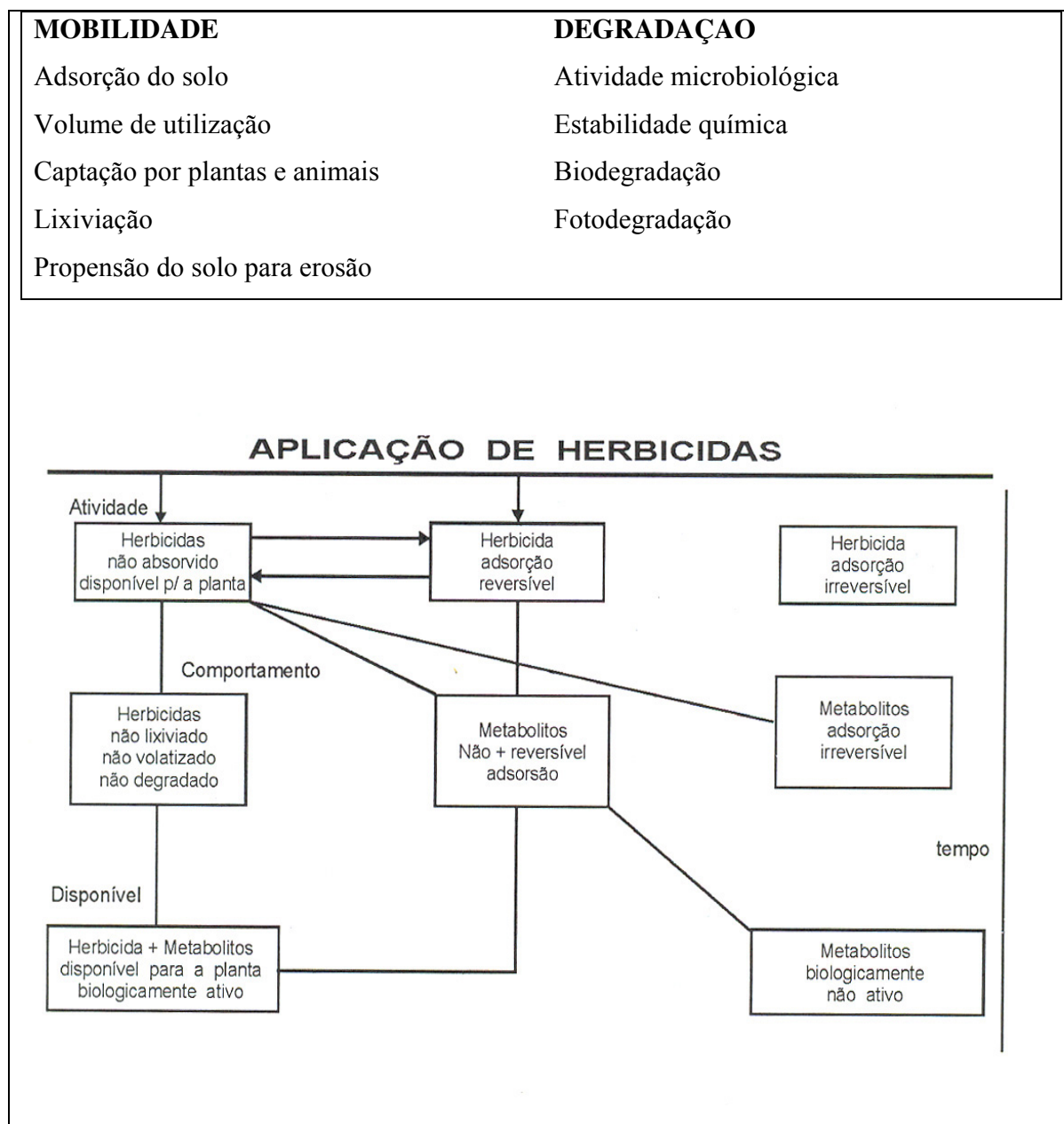
Sem querer entrar no mérito da questão neste trabalho, estes produtos serão citados preferencialmente como pesticidas, sendo vez por outra citados com os outros nomes como

produtos fitossanitários, defensivos agrícolas e produtos químicos, porém todos se referindo ao mesmo tema.

Os primeiros pesticidas sintéticos orgânicos tornaram-se disponíveis a partir de 1939 gerando grandes benefícios econômicos, aumentando a produção mundial de alimentos e controlando enfermidades como a malária e o tifo exantemático. Porém, a preocupação pelos efeitos adversos dos pesticidas no meio ambiente e na saúde humana começaram a estender-se a partir de 1960 principalmente pela publicação do livro 'Primavera Silenciosa' da bióloga Raquel Carson. Desde então, o interesse pelos riscos derivados do uso destes compostos tem conduzido à publicação de um grande número de trabalhos científicos sobre este assunto.

Segundo WOLFE et al. (1996), calcula-se que, a cada ano 2,5 bilhões de toneladas de pesticidas são aplicados em cultivos agrícolas em todo o mundo. Em muitos estudos sobre a relação percentual entre a quantidade total aplicada de um pesticida e aquela que alcança seus objetivos como controle de pragas ou enfermidades, se estima que seja menor do que 0,3% e em consequência, 99,7% se dispersa inevitavelmente no ambiente e uma parte alcança as pessoas (PIMENTEL, 1995). Desta forma, é possível que se produza efeitos negativos em espécies, comunidades ou no ecossistema, dado que o uso destes compostos pela agricultura leva a exposição aos mesmos por organismos, recursos naturais ou seres humanos.

Uma visão geral sobre os fatores que determinam a disponibilidade dos pesticidas para as plantas, podem ser observados a seguir na figura 1.

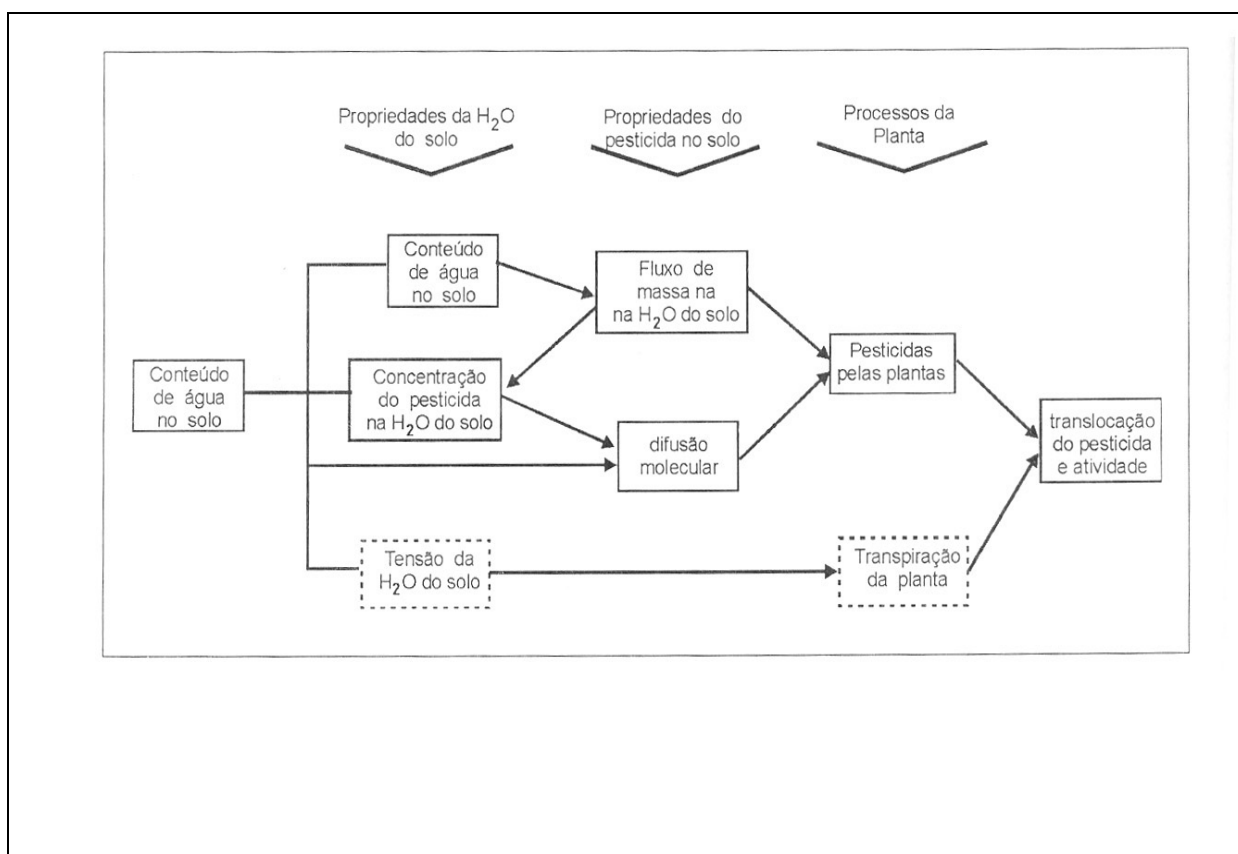


**Figura 1** – Principais fatores que determinam a disponibilidade para a planta (SCHMIDS e PESTEMER, 1980 apud FOLONI, 2001)

Quando a molécula de um determinado pesticida é aplicada no meio ambiente, independentemente da forma com que for realizada essa aplicação, na maioria dos casos, atinge o solo. No solo, a molécula pode seguir diferentes rotas, isto é, pode ser retida pelos colóides minerais e orgânicos e a partir daí, passar para formas indisponíveis, ou ser novamente liberada à solução do solo, processo conhecido como dessorção. A molécula também pode ser transformada em outras, chamadas de produtos de transformação ou metabólitos. O ponto final dessa transformação, para

várias moléculas de pesticidas, é a mineralização a  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  e íons minerais, o que se dá, geralmente, via microorganismos. Se a molécula se encontra na solução do solo, ela pode ser absorvida por raízes de plantas, ou ser lixiviada para camadas subsuperficiais do perfil do solo, ou sofrer escoamento superficial, ou ainda, ser volatilizada. Tudo isso ocorre no solo simultaneamente, em intensidades diferentes, e depende das propriedades físico-químicas da molécula, das propriedades químicas, físicas e biológicas do solo e das condições meteorológicas, constituindo um processo extremamente dinâmico (LAVORENTI, 1996).

Da mesma forma mecanismos pelos quais a água disponível no solo interfere na atividade do pesticida aplicado no solo, pode ser visualizado a seguir na figura 2.



**Figura 2** – Diagrama esquemática mostrando os prováveis mecanismos pelos quais o conteúdo de água influencia a atividade do pesticida aplicado no solo (FOLONI, 2001).

A análise do potencial efeito do uso agrícola dos produtos fitossanitários sobre o meio ambiente é consequência da união de fatores como as propriedades físico-químicas destes compostos, da dose de aplicação, da frequência de aplicação, da vulnerabilidade dos compartimentos ambientais, de valores de concentração da sua toxicidade (aguda e crônica) da

consequente exposição de indivíduos de populações de espécie indicadoras da fauna terrestres e aquáticas e da persistência potencial destes compostos no meio ambiente. Os sistemas de produção agrícola convencional ou alternativo sugerem freqüentemente a utilização de defensivos agrícolas para controlar organismos indesejáveis que provocam a diminuição da produtividade de uma cultura. Estes insumos são formulados e são comercialmente disponíveis, contendo ingredientes ativos que são responsáveis pelo controle efetivo da população de tais organismos. Para alguns destes ingredientes ativos, ou princípios ativos, são atribuídos efeitos ambientais indesejáveis tais como a contaminação de água superficial e subterrânea, a bioconcentração em espécies da cadeia trófica alimentar terrestre ou aquática, a contaminação do solo e de alimentos. Muitos destes compostos, por suas propriedades físico-químicas, podem ter preferência por um determinado compartimento ambiental instigando assim a preocupação ambiental provocada muitas vezes pelo seu uso inadequado.

Cada pesticida, em virtude do tipo e número de átomos que o compões e do seu arranjo estrutural, possui uma série específica de propriedades físico-químicas. As principais propriedades físico-químicas relacionadas a seu comportamento ambiental são: solubilidade em água ( $S_w$ ), pressão de vapor ( $P$ ), coeficiente de partição n-octanol-água ( $K_{ow}$ ), constante de ionização ácido ( $pK_a$ ) ou base ( $pK_b$ ), constante da lei de Henry ( $K_H$ ) e a reatividade ou meia vida ( $T_{1/2}$ ). Essas propriedades químicas são normalmente determinadas em laboratório, sob condições controladas e por métodos conhecidos.

A solubilidade de um pesticida em água ( $S_w$ ) refere-se à quantidade máxima da molécula (pura) que pode ser dissolvida em água, a uma determinada temperatura. Seu valor é expresso na maioria das vezes em concentração ( $mg\ L^{-1}$ ). Valores tabelados são usualmente fornecidos para a temperatura de 25°C.

A pressão de vapor ( $P$ ) de um pesticida é uma medida da tendência de sua volatilização, sendo função direta da temperatura. No entanto, o valor de  $P$  não indica em qual taxa o pesticida se volatilizará. De forma geral, pesticidas com valores de  $P > 10^{-2}$  mm Hg (1 mm Hg = 133 Pa) são considerados muito voláteis à temperatura ambiente (ao redor de 25°C); de  $10^{-4} < P < 10^{-3}$ , medianamente voláteis, de  $10^{-7} < ou = P < ou = 10^{-5}$ , pouco voláteis, e  $P < 10^{-8}$ , não-voláteis (DEUBER, 1992).

O fato de a molécula de pesticida passar para o estado gasoso não indica que ela se transformou, isto é, que tenha alterado sua estrutura química. Ela mudou apenas de estado físico ou

de fase, mas continua sendo a molécula original. Isso ocorre de maneira similar ao que acontece com a molécula de água que passa do estado sólido ou líquido para o gasoso, continuando a ser a molécula de água em estado físico distinto.

O coeficiente de partição n-octanol-água ( $K_{ow}$ ) de um pesticida é definido como a relação entre sua concentração na fase de n-octanol saturado em água e sua concentração na fase aquosa saturada em n-octanol. Valores de  $K_{ow}$  são expressos, normalmente, na forma logarítmica ( $\log K_{ow}$ ).

$$\log K_{ow} = \log \frac{\text{concentração da fase } n - \text{octanol}}{\text{concentração da fase aquosa}} \quad (1)$$

O coeficiente de partição n-octanol-água é uma propriedade muito importante nos estudos relacionados ao destino de moléculas orgânicas no ambiente, pois mede o caráter hidrofóbico/hidrofílico da molécula.

As constantes de ionização ácido/base ( $K_a$  ou  $K_b$ ) das moléculas que possuem caráter de ácido fraco ou base fraca, respectivamente, representam a tendência do pesticida em se ionizar. Os valores dessas constantes indicam dentro de qual faixa de pH da solução do solo o pesticida se ionizará. Isso é importante, pois as formas ionizadas de pesticidas se comportam diferentemente das não-ionizadas (neutras). Os valores de  $K_a$  ou  $K_b$  têm sido convertidos em  $pK_a$  ou  $pK_b$  ( $pK = -\log K$ ), os quais são comumente apresentados nos estudos de comportamento de pesticidas no solo (LAVORENTI, 1999).

Pesticidas ácidos são aqueles cujas formas moleculares (neutras) são capazes de doar um ou mais prótons e formar íons com cargas negativas e pesticidas básicos são aqueles cujas formas moleculares são capazes de receber um ou mais prótons e formar íons com cargas positivas (LAVORENTI et al., 2003).

Constante da lei de Henry ( $K_H$ ) refere-se ao coeficiente de partição ao líquido ou vapor-líquido, sendo definida pela equação (válidas para soluções diluídas):

$$K_H = \frac{P_i}{C_i} \quad (2)$$

onde  $P_i$  = pressão parcial da interface ar-água e  $C_i$  = concentração na interface ar-água.

Quanto maior o valor de  $K_H$ , maior é o potencial de volatilização da molécula, geralmente esse valor diminui com o aumento da solubilidade do componente. Essa constante também pode ser

calculada a 1 atm (760 mm de Hg, 0,101 MPa) com base na pressão de vapor (P) e na solubilidade da molécula em água ( $S_w$ ):

$$K_H = \frac{P \cdot MA}{760 S_w} \text{ (atm m}^3 \text{ mol}^{-1}) \quad (3)$$

Em que P (mm Hg),  $S_w$  (mg L<sup>-1</sup>) e MA = massa atômica (g mol<sup>-1</sup>).

Uma determinada molécula de pesticida quando atinge o solo ela pode seguir diferentes rumos. Ela pode ser absorvida pelas plantas e manifestar seu mecanismo de ação, o que é desejável; pode ser transformada; pode ser retida; e, caso nenhum desses processos ocorra, pode ser transportada para diferentes compartimentos do ambiente. O processo de retenção é responsável pela “captura” da molécula, impedindo-a de se mover e, em alguns casos de manifestar sua ação.

O termo sorção é utilizado para descrever o processo de retenção de moléculas orgânicas, pelo fato de não se saber se está ocorrendo fenômeno de adsorção, absorção, precipitação ou partição hidrofóbica. Portanto, sorção representa a “apreensão” de um soluto pelo solo (ou constituinte do solo), sem indicar o mecanismo envolvido. Depois de sorvida, uma fração das moléculas pode retornar à solução do solo, sendo esse processo conhecido como dessorção. Nesse caso, a concentração do pesticida sorvido encontra-se em equilíbrio com a concentração dele na solução do solo.

Moléculas de pesticida sorvidas aos colóides do solo, dependendo da energia da ligação, podem apresentar-se na forma de resíduos ligados (não disponível), isto é, em não-equilíbrio com a solução do solo, assemelhando-se à fração não-lábil do P inorgânico no solo. Em alguns casos, parte dessa fração ligada do pesticida pode retornar à solução do solo, sendo esse processo conhecido por remobilização (LAVORENTI, 1997).

A energia de ligação entre os pesticidas e os colóides dos solos, também conhecidas, como entalpia de ligação, pode variar; assim, os pesticidas podem ser atraídos e sorvidos com diferentes intensidades, dependendo do mecanismo de ligação envolvido. Esses mecanismos podem ser subdivididos em químicos, físicos e interações hidrofóbicas.

Os processos químicos caracterizam-se por envolver ligações fortes, com energias variando de 209,2 a 460,2 kJ mol<sup>-1</sup>, dependendo dos elementos e radicais envolvidos.

Os processos físicos são caracterizados por envolver baixa energia de sorção (83,7 kJ mol<sup>-1</sup> ou menos). Muitos pesticidas e moléculas dipolares são atraídos para a superfície dessa maneira.

A interação hidrofóbica, também conhecida como partição hidrofóbica, diz respeito à afinidade de uma molécula orgânica pela fração orgânica do solo, devido a sua baixa afinidade pela água (ou melhor, solução do solo). Este tipo de interação está relacionado aos valores de  $K_{ow}$  da molécula e ao tipo e teor de matéria orgânica do solo, sendo de fundamental importância para a sorção de pesticidas hidrofóbicos, não-iônicos (LAVORENTI et al., 2003).

A formação de resíduo ligado é um importante mecanismo de dissipação de pesticidas no ambiente, pois, na grande maioria dos casos, essas moléculas ficam indisponíveis no solo. A formação de resíduo ligado também influencia diretamente a biotransformação dos pesticidas, diminuindo a disponibilidade das moléculas aos microrganismos do solo (KAWAMOTO e URANO, 1989).

Os processos abióticos de transformação de pesticidas em solos se devem à transformação química e fotodegradação. Certos meios de transformação dos pesticidas no solo, como a fotólise, a hidrólise e a oxidação, são afetados pela extensão da solubilidade em água do pesticida.

A transformação abiótica de um pesticida no solo ocorre quando a molécula é transformada pela ação de componentes físicos ou químicos do ambiente.

Os dois principais mecanismos de reações químicas importantes na transformação de pesticidas no solo são a hidrólise e as reações de oxirredução (LAVORENTI et al., 2003).

Segundo WOLFE et al. (1990), a hidrólise é influenciada, no solo e na água, pelo valor do pH, pela temperatura e pela sorção do pesticida. A hidrólise é um processo de transformação química no qual uma molécula orgânica, RX, reage com a água, formando uma nova ligação carbono-oxigênio e rompendo uma ligação carbono-X na molécula original.

A classificação mais comum utilizada para definir o estado de oxirredução do meio é a que define o estado de redox de acordo com o valor de Eh (potencial do eletrodo em mV). Para valores de  $400 < Eh < 800$ , o meio é considerado fortemente oxidante;  $200 < Eh < 400$ , moderadamente oxidante;  $-50 < Eh < 200$ , moderadamente redutor;  $-200 < Eh < -50$ , redutor; e  $-400 < Eh < -200$ , fortemente redutor.

É possível observar fotodegradação (fotólise) das moléculas de um pesticida na superfície do solo ou folha de uma planta quando ocorre a ação da luz. Geralmente, a luz apresenta um papel de catalisador de reações químicas como a hidrólise, oxidação, redução etc., sendo os produtos resultantes destas reações, algumas vezes, os mesmos encontrados em decorrência dos processos

enzimáticos. É muito difícil diferenciar a origem dos processos de transformação no solo (se abiótica ou enzimática).

A extensão da fotodegradação depende do tempo de exposição, da intensidade, do comprimento de onda da luz, do estado físico do pesticida, da natureza do suporte sólido ou do solvente, do pH da solução e da presença de água e fotossensibilidade. Um exemplo clássico e prático de fotodegradação refere-se ao herbicida trifluralina. Em função de suas propriedades físico-químicas, esse herbicida deve ser incorporado após sua aplicação no solo na maioria de suas formulações comerciais, o que restringe a um herbicida de pré-plantio incorporado (PPI).

A transformação abiótica de pesticidas, em alguns casos, pode dar origem a moléculas com estruturas químicas maiores que a original. O processo de polimerização é um exemplo disso e diz respeito a rearranjos entre moléculas proporcionados por reações fotoquímicas. Como exemplos, têm-se as anilinas substituídas e os pentaclorofenóis (LAVORENTI et al., 2003).

A maioria das moléculas de pesticidas é transformada pela ação do metabolismo dos microrganismos no solo. Assim, o termo biodegradação, tipicamente, refere-se à transformação microbiológica de um composto orgânico em outra forma, sem se referir à extensão (MONTEIRO, 1998).

A transformação microbiana pode acontecer por reações metabólicas diretas, consideradas primárias, ou por efeitos indiretos dos microrganismos com as propriedades físicas e químicas do solo, resultando em transformações secundárias. Dessa forma são cinco os processos envolvidos nas transformações microbianas de pesticidas no solo:

Catabolismo: o pesticida deve ser como fonte de energia e de nutrientes para o crescimento e desenvolvimento dos microrganismos degradadores.

Cometabolismo: o pesticida é transformado por reações metabólicas, mas não serve como fonte primária de energia e de nutrientes para o microrganismo. Normalmente, a molécula não é transformada completamente. Por meio da adição de materiais orgânicos ao solo, pode-se evidenciar a transformação cometabólica de pesticidas no solo.

Polimerização ou Conjugação: a molécula original do pesticida ou de um de seus metabólitos se combina com compostos naturais do solo, como aminoácidos ou carboidratos, ou com outra molécula de pesticida.

Acúmulo: ocorre quando a molécula de um pesticida é incorporada ao microrganismo, sem que seja transformada. O acúmulo de moléculas por microrganismos pode ocorrer por um

processo ativo ou passivo e traz uma grande preocupação, uma vez que essa interferência microbiana significa apenas a remoção temporária da molécula.

Efeitos secundários da atividade microbiana: o pesticida é transformado em decorrência de alterações no pH, potencial redox etc., promovidas pela atividade microbiana (PRATA et al., 2000).

A biodegradação ocorre em função da produção de enzimas por microrganismos degradadores de pesticidas, as quais, em contato com essas moléculas, dentro ou fora das células dos microrganismos, participam de uma série de reações, como: oxidação, redução, hidrólise, desalquilação, dextricarboxilação, hidroxilação, metilação, desalcoxilação etc (LAVORENTI, 1996).

O termo dissipação é bastante utilizado no estudo do comportamento de pesticidas no ambiente. Esse termo refere-se à fração do pesticida que é mineralizada ou permanece no solo em formas que não a original, ou seja, a dissipação abrange a mineralização, a metabolização, a formação de resíduo ligado do pesticida, a absorção e o transporte. O índice de meia-vida ( $t_{1/2}$ ) expressa o tempo em que 50% da quantidade total aplicada de uma determinada molécula encontra-se dissipada no solo. A meia-vida pode ser calculada mediante a utilização da constante cinética da velocidade de dissipação ( $k$ ), da equação de cinética de primeira ordem:

$$C = C_0 e^{-kt} \quad (4)$$

Em que  $C$  é a concentração do pesticida remanescente no solo no tempo  $t$ ,  $C_0$  é a concentração do pesticida no tempo zero e  $K$  é a constante de velocidade da reação ( $d^{-1}$ ). A meia vida é calculada pela seguinte equação:

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{k} \quad (5)$$

A meia-vida propriamente dita representa bem o destino dos pesticidas para a maioria das situações, mostrando valores muito inferiores em relação à meia-vida de mineralização. Um aspecto muito interessante relacionado à transformação microbiana de pesticidas no solo diz respeito à adição de materiais orgânicos ao meio. A figura 3 a seguir mostra o comportamento do pesticida nos compartimentos ambientais.

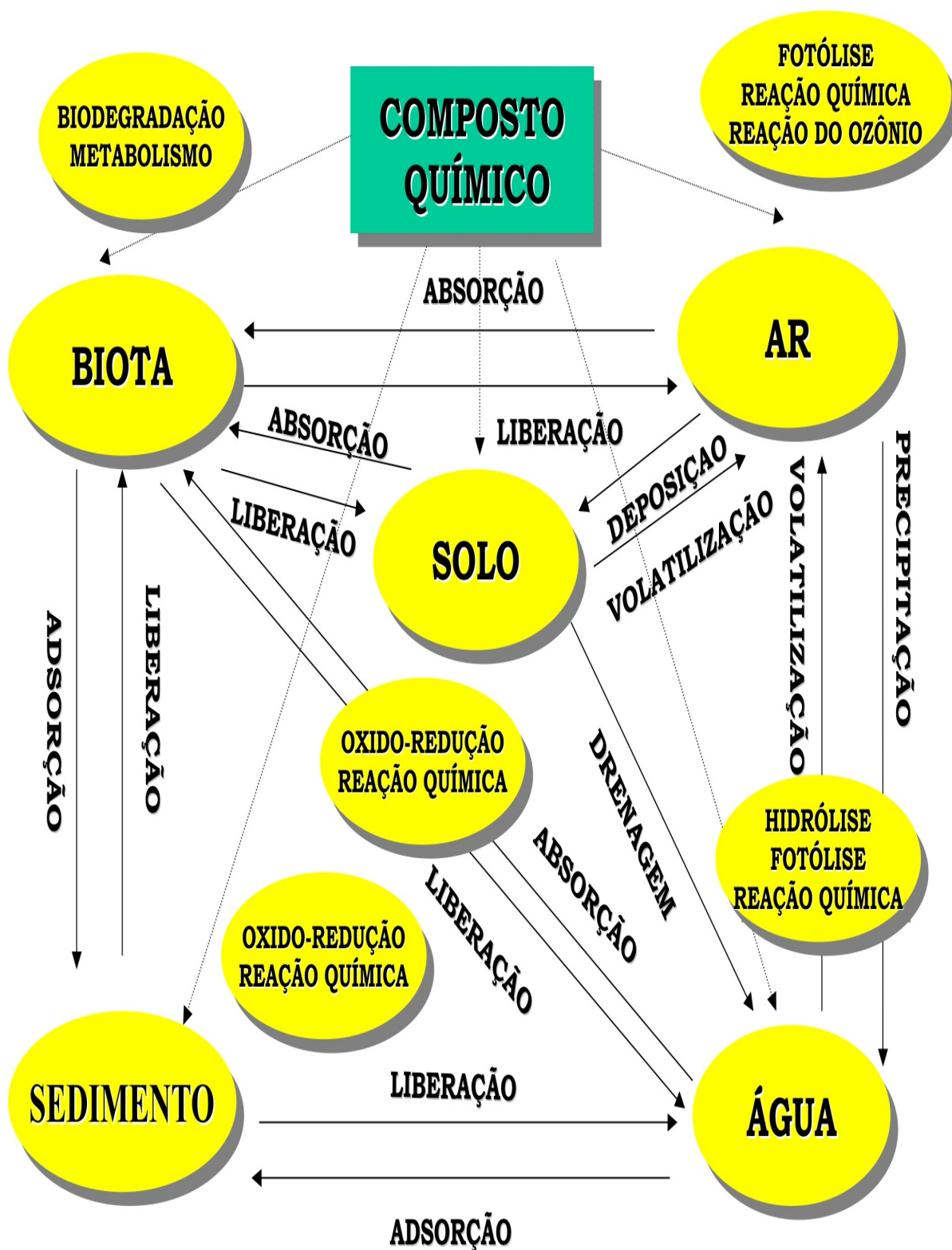


Figura 3 - Comportamento do pesticida no ambiente.

A transformação de pesticidas é constituída, na maioria das vezes, por processos distintos e complexos, os quais são influenciados pelos mais diferenciados fatores. Isso faz com que o processo de transformação seja específico para cada molécula (LAVORENTI et al., 2003).

MONTEIRO (1998), cita que existem outros fatores que podem influenciar na transformação dos pesticidas, e entre eles estão o tipo de formulação, os solventes utilizados e os surfatantes. Pesticidas em formulações granuladas, por exemplo, tendem a serem mais persistentes do que os concentrados emulsionáveis e outros. Os solventes, emulsificantes, estabilizantes, espalhantes e algumas impurezas da síntese do ingrediente ativo são capazes, potencialmente, de afetar a microbiota do solo.

O transporte de pesticidas no ambiente pode ocorrer por meio da sua movimentação vertical no solo, processo conhecido como lixiviação da volatilização da molécula, ou pelo escoamento superficial ou *runoff*.

A lixiviação é a principal forma de transporte no solo das moléculas não-voláteis e solúveis em água. Essas moléculas caminham no perfil, acompanhando o fluxo de água, o qual é governado pela diferença de potencial da água entre dois pontos. Quando uma molécula orgânica é lixiviada, pode atingir zonas subsuperficiais do perfil e, em alguns casos, pode até mesmo alcançar o lençol freático, e acarretar impactos ambientais (LAVORENTI et al., 2003).

O movimento do herbicida ao longo da superfície do solo em declive, juntamente com o escoamento da água de chuva ou o vento, até a superfície das águas dos rios, lagos e terrenos de menor declividade. A quantidade de herbicida e a distância que é carregado por transporte de massa superficial são influenciadas por fatores tais como a taxa de aplicação, propriedades físico-químicas do herbicida e do solo, o tempo antes que ocorra a erosão seguindo a aplicação, a quantidade de precipitação versus taxa de infiltração, o relevo topográfico do terreno e o tipo de cobertura vegetal (LAVORENTI, 1996).

A deposição de herbicida é o resultado final do transporte de massa superficial, a qual é influenciada pela velocidade da força carregadora (água ou vento) e o tamanho da partícula no qual o herbicida pode estar adsorvido.

De forma geral, os principais fatores determinantes da lixiviação de pesticidas no solo são a solubilidade em água da molécula, a textura e a estrutura do solo e o índice pluviométrico da região em questão. Assim moléculas com elevada solubilidade em água ( $S_w > 300 \text{ mg L}^{-1}$ ), como o

herbicida picloram, em solo arenoso e em região com elevado índice pluviométrico, apresentam considerável potencial de lixiviação (LAVORENTI et al., 2003).

FILIZOLA et al. (2002) com o objetivo de monitorar e avaliar a possível contaminação provocada pelo uso agrícola de pesticidas em água superficial e subterrânea, na região de Guaiara (SP), realizou um estudo, por dois anos e meio na área. O trabalho constou no monitoramento de trifluralina, endossulfan (alfa, beta e seu metabólito endossulfan sulfato), lambda cialotrina, dicofol (e seu metabólito 4,4 diclorobenzofenona), captan, paration metil, clorotalonil e clorpirifós no rio Ribeirão Jardim, bem como em um de seus afluentes e na água subterrânea proveniente do Aquífero Guarani. Os resultados analíticos indicaram que não houve contaminação da água subterrânea, mas que ocasionalmente houve uma contaminação direta das águas de superfície. A grande espessura dos Latossolos (textura argilosa e a grande capacidade de armazenamento de água), foi apontada pelos autores como os principais motivos pelos quais a presença das moléculas não foi constatada na água subterrânea. Os autores observaram por outro lado que a presença ocasional de clorotalonil, 4,4 diclorobenzofenona, captan, endossulfan sulfato e lambda cialotrina nas águas de superfície foi relacionada à lavagem de tanques e embalagens de pesticida diretamente na água dos córregos, visto que o lençol freático pouco profundo não foi contaminado.

O potencial de lixiviação de pesticidas no solo pode ser determinado por alguns métodos diferentes, como, por exemplo, por meio das placas de solo, percolação em colunas preenchidas com amostras deformadas ou indeformadas de solo, assim como os estudos em lisímetros. Entretanto, estudos sob condições de lisímetros são extremamente onerosos e, portanto, muito limitados no Brasil; assim, os estudos de lixiviação potencial no país ficam restritos às placas e às colunas.

GUSTAFSON (1989) estabeleceu um coeficiente muito utilizado na determinação do potencial de lixiviação de pesticidas chamado índice de GUS (*Groundwater Ubiquity Score*). Este índice embora apresentando sérias limitações talvez seja o modelo de screening mais empregado atualmente:

$$GUS = \log(t_{1/2}) \times (4 + \log(Koc)) \quad (6)$$

A equação leva em consideração a persistência da molécula no solo e a força da matriz envolvida no impedimento da lixiviação do pesticida. Quanto maior a meia-vida e menor a sorção da molécula, maior será o valor de GUS, ou seja, maior seu potencial de lixiviação no perfil. Os pesticidas são classificados segundo o valor de GUS em:

< 1,8 = pesticida não lixiviadores;

1,8-2,8 = pesticida transitório ou intermediários;

> 2,8 = pesticida lixiviadores;

O processo de volatilização distribui o pesticida das superfícies do solo, da planta ou da água para a atmosfera. Cada pesticida tem uma tendência a mudar da fase sólida para a líquida e desta para vapor, devido ao movimento ou à energia da molécula que o compõe. A tendência de uma molécula no estado líquido passar para o estado gasoso (ou volatilizar) é indicada por sua pressão de vapor.

Os pesticidas muito voláteis requerem incorporação ao solo, independentemente das condições de clima ou de solo.

Embora a pressão de vapor de um pesticida, em grande extensão, determine a entrada do produto na atmosfera, deve-se tomar extremo cuidado na interpretação dos dados de volatilização. A pressão de vapor de um pesticida pode dar uma boa estimativa do transporte de ar enquanto o produto estiver no estado livre ou estiver volatilizando de uma superfície inerte. De qualquer modo, quando o pesticida estiver ligado à superfície, a pressão de vapor não pode ser usada como um índice para o transporte de vapor.

Quando se estuda a perda de vapor de uma superfície do solo, outros fatores, como temperatura, concentração inicial do pesticida, umidade e pH, podem controlar a liberação do pesticida. A elevação da temperatura na superfície do solo é um fator que intensifica a perda por volatilização dos pesticidas em geral.

A absorção radicular de pesticidas diz respeito, principalmente, aos inseticidas de solo e aos herbicidas aplicados em pré-emergência (PE) e pré-plantio incorporado (PPI). O termo absorção, nesse caso, refere-se à entrada do pesticida, em forma iônica ou não, nos espaços intercelulares ou no interior das células ou organelas celulares. A transferência da molécula do ponto de absorção para qualquer outra região da planta, onde a molécula manifestará seu mecanismo de ação, é conhecida por translocação.

A movimentação do pesticida ao longo da superfície do solo, juntamente com o escoamento da água da chuva ou até pelo vento, até a superfície da água dos rios, lagos e terrenos de menor declividade é conhecida como escoamento superficial ou *runoff*.

A concentração do pesticida e a distância em que ele é transportado são influenciadas por fatores como: taxa de aplicação, propriedades físico-químicas do pesticida e do solo, tempo antes

que ocorra a erosão seguindo a aplicação, quantidade de precipitação versus a taxa de infiltração, topografia do terreno e tipo de cobertura vegetal (LAVORENTI et al., 2003).

SCHUZ (2001) observou que o transporte de um pesticida por escoamento superficial não é tão previsível como é por lixiviação, na qual se pode ter como base às propriedades físico-químicas do pesticida. O processo de runoff é muito dependente dos padrões de uso, das condições climáticas e da geografia do local e ao se efetivar o escoamento superficial pouco importa se o pesticida tem um valor de  $K_d$  ou  $K_{oc}$  baixo ou elevado, pois ele poderá ser transportado tanto sorvido às partículas do solo (na forma de resíduo ligado) como livre na solução do solo.

Se o pesticida for quimicamente estável no ambiente, ou se ele for apenas parcialmente transformado em outra espécie química também estável, a situação se torna mais complicada. Sendo assim, há a necessidade de se conhecer o comportamento dos pesticidas nos solos brasileiros.

O destino final dos pesticidas no solo é governado por uma série de reações, as quais dependem das propriedades físico-químicas do pesticida, dos atributos químicos, físicos e biológicos do solo, das plantas envolvidas e das condições meteorológicas. As interações desses fatores resultam nos processos de retenção, transformação e transporte das moléculas no solo, os quais, por sua vez, configuram um determinado período de dissipação para os pesticidas naquelas condições.

De maneira geral, a matéria orgânica do solo é de fundamental importância na dissipação dos pesticidas, pois seu conteúdo e sua estrutura podem inferir tanto na transformação, como na retenção e no transporte dessas moléculas no solo. De modo semelhante, os microrganismos também desempenham papel importante nos processos de transformação de pesticidas nos solos.

As pesquisas referentes a esse tema vêm ganhando importância na literatura, principalmente nas últimas duas décadas, em face do uso da grande quantidade utilizada na agricultura em todo o mundo. Hoje já existem numerosos trabalhos referentes ao comportamento das mais diferentes moléculas de pesticidas, nos mais diferentes cenários. Entretanto, pouquíssimos são os estudos relacionados às condições de clima e solos brasileiros; também são poucos os estudos de caracterização de áreas já contaminadas para as nossas condições (LAVORENTI et al., 2003).

## 2.3 Modelo Matemático

A fugacidade é um conceito termodinâmico introduzido em 1901, por G. N. LEWIS (1901), com a finalidade de explicar os desvios de comportamento dos gases reais com respeito aos gases ideais no estudo da energia livre em um processo de expansão, isotérmico, reversível e infinitesimal. Ademais, a fugacidade descreve a tendência ou o potencial de escape de um gás real de uma fase ou compartimento e, desta forma, a fugacidade é um parâmetro termodinâmico que expressa a diferença termodinâmica entre um gás real e um gás ideal. A fugacidade de uma substância é uma variável intensiva relacionada com o potencial químico, independente da fase em que se encontre. Este parâmetro pode ser usado tanto para caracterizar trocas de estado de uma substância em uma fase quanto entre fases. Esta propriedade da fugacidade permite a sua aplicação na análise termodinâmica de sistema, que compreendem mais de uma fase, e que são caracterizadas pelo movimento de substância entre fases, o que é muito freqüente em sistemas ambientais.

O modelo de fugacidade nível I (MACKAY e PATERSON, 1981) é utilizado para estimar a distribuição percentual de cada um dos pesticidas aplicados em um sistema ambiental, mesocosmo hipotético (MACKAY, 1991), constituído de ar, água, solo, sedimento de fundo, sedimento em suspensão em água, biomassa aquática e biomassa de plantas terrestres. O modelo de fugacidade nível I calcula a distribuição de um pesticida entre compartimentos, assumindo equilíbrio termodinâmico dos coeficientes de partição em estado de equilíbrio estacionário. Neste modelo é suposto que após uma emissão não existem processos de degradação do pesticida. Um sistema ambiental compartimental é definido como uma zona do ambiente constituída por seções contíguas homogêneas denominadas de compartimentos ou fases, nas quais se realizam processos dinâmicos. Exemplos de compartimentos ambientais são: o ar, o solo, a água de um lago ou de um rio, o sedimento de fundo de um lago, a biomassa terrestre e a biomassa aquática. Os compostos químicos emitidos em sistemas ambientais podem alcançar diferentes concentrações nas distintas fases quando alcançam o equilíbrio. As concentrações em cada uma das fases, em teoria, devem ser quantificadas em termos dos parâmetros termodinâmicos. A partição em equilíbrio de uma substância entre o ar e a água é um exemplo no qual o quociente entre as concentrações em

cada fase ou compartimento pode ser expresso pela constante adimensional da lei de Henry, como consta em MACKAY e PATERSON (1981).

Os modelos matemáticos, baseados na teoria termodinâmica da fugacidade, são freqüentemente delineados por um sistema linear de equações diferenciais ou algébricas, descrevendo o balanço total de massa de uma substância química em sistema ambiental constituídos por compartimentos homogêneos, meios ou fases (MACKAY e PATERSON, 1981; 1982). Assim, quando todas as fugacidades são iguais e constantes em todos os compartimentos, as concentrações dos compostos orgânicos (no caso os pesticidas em estudo) são calculadas diretamente. Este caso corresponde ao conhecido modelo de fugacidade nível I ou modelo de fugacidade nível II quando adicionalmente se inclui advecção e degradação da substância nos compartimentos (MACKAY, 1991).

O modelo de fugacidade nível III supõe que as fugacidades estão em estado estacionário não equilibrado, podendo ter diferentes valores, os quais são determinados por um sistema linear de equações algébricas representando um sistema ambiental compartimental, onde existem advecções, degradações, emissões e transferência de substância entre os compartimentos (MACKAY, 1991). Existem outros modelos de fugacidade descrevendo o estado não estacionário do processo de distribuição de uma substância entre os compartimentos, os quais permitem observar emissões e fugacidades variando com o tempo e determinar o tempo pelo qual o sistema alcança o estado de equilíbrio estacionário. Estes modelos, conhecidos como modelos de fugacidade nível IV, são descritos por um sistema linear de equações diferenciais ordinárias (MACKAY, 1991) ou por um sistema dinâmico de controle (BRU et al., 1998; PARAÍBA et al., 1998).

Para os níveis de fugacidade II, III e IV são necessários diversos outros parâmetros que não estão disponíveis em nenhum manual e para serem utilizados necessitam desenvolver experimentos de campo ou até mesmo conseguir através de análises complexas em laboratórios especializados.

## **2.4 Impacto Ambiental dos Pesticidas**

Apesar da crescente preocupação ambiental e social decorrente do uso agrícola de compostos químicos como insumo para controlar uma população de pragas, pestes, plantas invasoras ou patógenos, porém não se sabe e não se pode afirmar categoricamente se um determinado pesticida apresenta um risco potencial como contaminante de água superficial ou subterrânea, das camadas superficiais e profundas de solos agrícolas ou se são compostos que bioconcentram em organismos aquáticos e terrestres de uma cadeia trófica alimentar, pois não existe uma recomendação ou forma simples que avalie este risco.

Recentemente KOOKANA e SIMPSON (2000) elaboraram uma lista de procedimentos que devem ser seguidos e investigados para avaliar o destino ambiental de pesticidas recomendados em sistemas de produção agrícola. Estes autores também sugerem que diversas áreas do conhecimento devem colaborar e evoluir no sentido de fornecerem instrumentos metodológicos que sustentem o estudo do comportamento ambiental de pesticidas em sistemas agrícolas. A investigação do comportamento ambiental dos pesticidas é um trabalho multidisciplinar e costuma ser desenvolvida por diferentes áreas do conhecimento como, por exemplo, edafologia, ecologia, química analítica, bioquímica, microbiologia, climatologia, agronomia, toxicologia, ecotoxicologia, estatística e matemática aplicada.

Um sistema de produção agrícola é frequentemente elaborado por especialista com o objetivo de minimizar os riscos econômicos para o agricultor. No alcance deste objetivo pode ser ignorado o efeito ambiental decorrente do uso dos pesticidas.

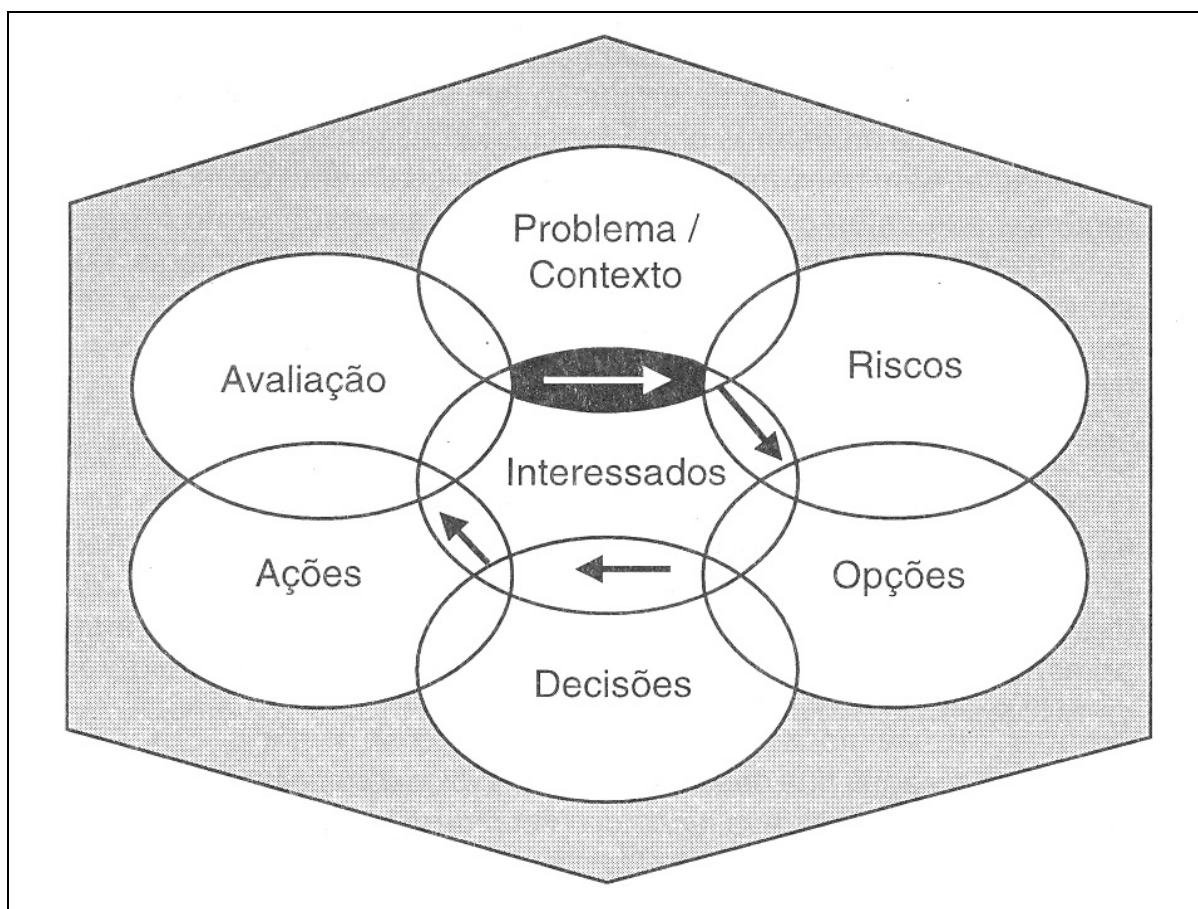
As análises dos efeitos ambientais derivados do uso de defensivos agrícolas têm sido seriamente consideradas nos últimos anos pelas autoridades e investigadores, levando a uma restrição crescente ou a eliminação definitiva do uso de alguns destes compostos. Ainda que o uso de alguns dos produtos fitossanitários ambientalmente mais perigosos tenha sido abandonado, os pesticidas em uso e disponíveis no mercado para os agricultores, não obstante pertençam a uma geração de pesticidas ambientalmente mais corretos, porém estes novos compostos podem causar de forma sutil e significativa efeitos não desejáveis ao ambiente, aos organismos e as pessoas.

Existe um consenso geral de que o impacto ambiental de um pesticida depende do grau de exposição, como consequência da sua dispersão ambiental e de suas propriedades

ecotoxicológicas (SEVEN e BALLARD, 1990; EMANS et al., 1992). Assim, a análise do risco ambiental decorrente do uso de um determinado pesticida deve conduzir a normas reguladoras, incluindo tanto a análise do grau de exposição quanto seus efeitos ambientais. A avaliação de risco dos pesticidas consta dos seguintes parâmetros: identificar o perigo, avaliação da dose resposta, estimativa da exposição, caracterização do risco e o gerenciamento. Para análise de exposição supõe conhecer as vias de dispersão do composto químico no meio ambiente e ser capaz de estimar e prever as concentrações que estes compostos podem alcançar nos distintos compartimentos do ecossistema. Segundo SEVEN e BALLARD (1990) citam que estes dados gerados do destino e transporte dos pesticidas no ambiente podem ser essencial para a avaliação da exposição exigida para avaliação de risco das atividades durante a fase de registro ou de um novo registro ao produto já existente.

Outro tipo de avaliação importante a ser feita é a avaliação de perigo do pesticida que é inferida da comparação entre os efeitos que a substância química pode produzir aos organismos vivos ou ao ecossistema e nível de exposição (VIGHI e DI GUARDO, 1995). A toxicidade é inerente ao pesticida, enquanto o risco é a probabilidade da ocorrência de efeitos adversos, como resultados da toxicidade e da exposição.

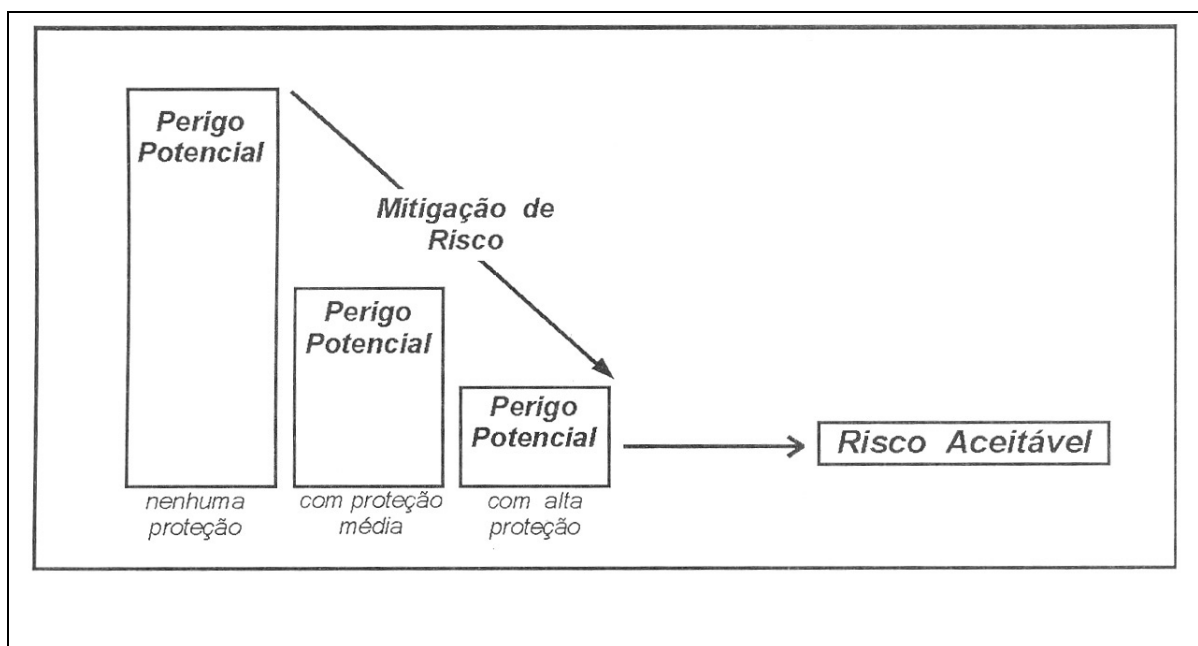
Do ponto de vista técnico, a parte primordial do processo de decisão sobre como e quando usar agrotóxicos é o da avaliação de risco, que consiste no processo de determinar a magnitude, os graus e as probabilidades da ocorrência de efeitos adversos que podem resultar do uso de um pesticida (FOLONI, 2001). Este conjunto de ações podem ser mostrado graficamente na figura 4 a seguir.



**Figura 4** – Diagrama esquemática mostrando as seis etapas do gerenciamento de risco (FOLONI, 2001).

O gerenciamento de risco é uma decisão técnica e política e depende dos interesses relacionados com a produção, comercialização, consumo, ou emprego de uma determinada substância no país.

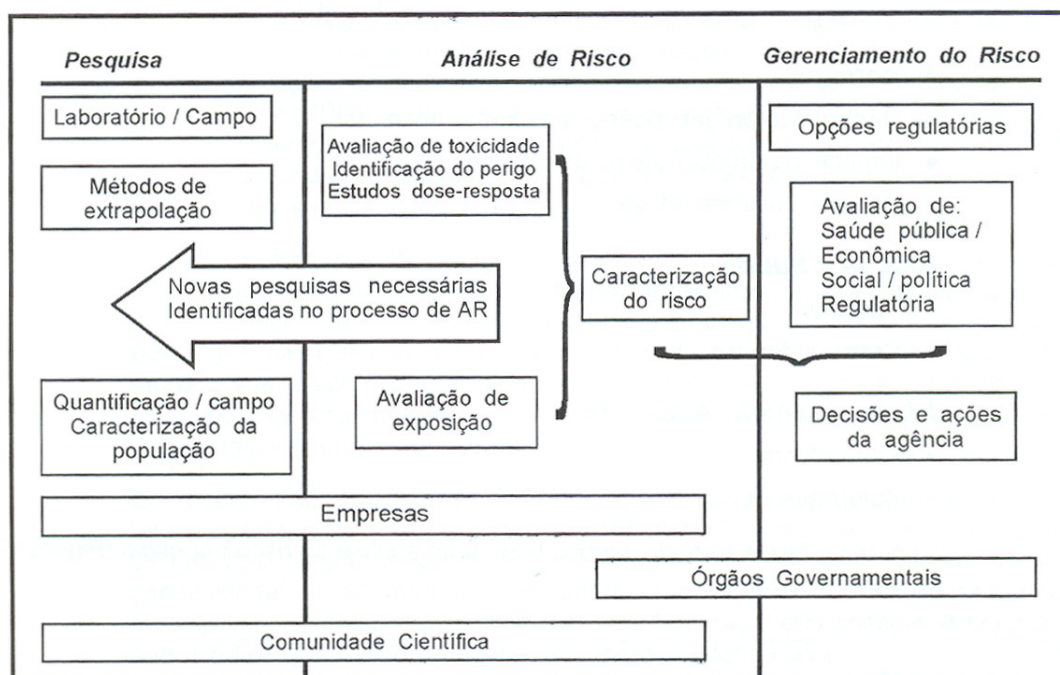
A figura 5 apresentada a seguir, mostra que a mitigação possibilita através de medidas simples reduzir em alguns casos o risco a níveis aceitáveis.



**Figura 5** – Gerenciamento de risco para possibilitar a redução do perigo potencial (FOLONI, 2001).

VALADÃO et al., (1999) e FOLONI (2000) relatam que as estas etapas e ações executadas na identificação do perigo, análise de risco e gerenciamento do risco, são dependentes da ação conjunta do governo, comunidade científica e setor privado.

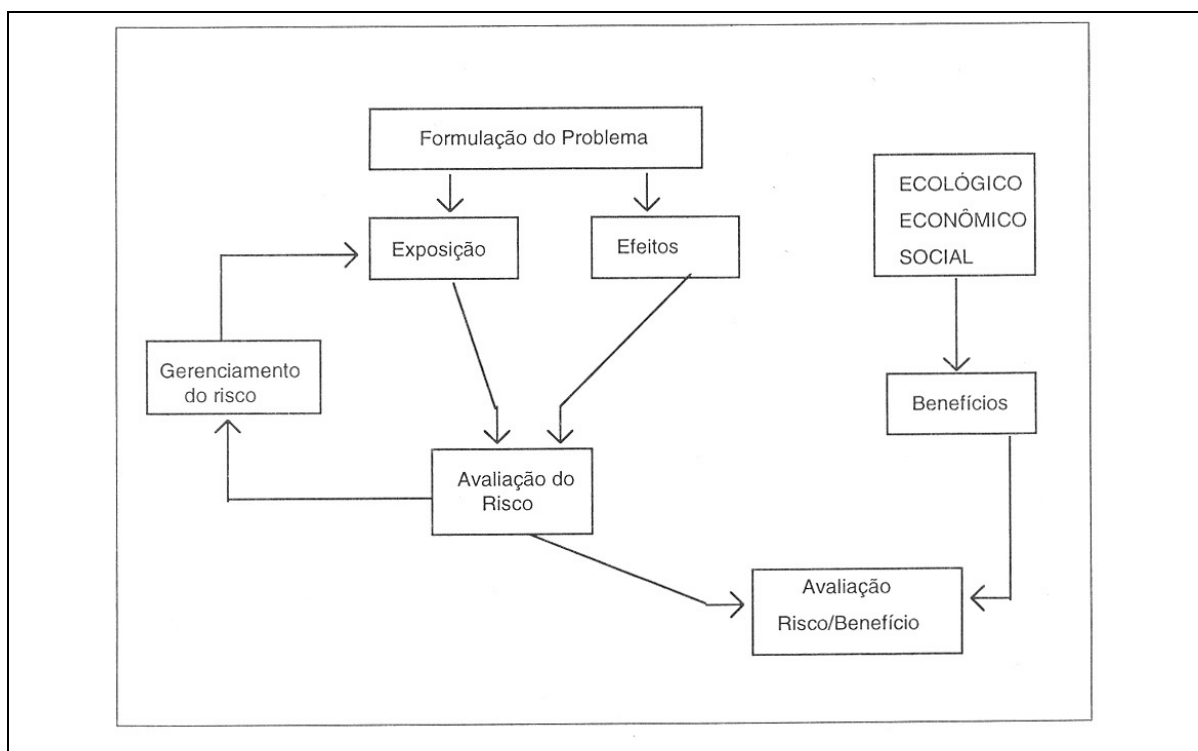
A avaliação de risco requer a participação harmônica de um grupo disciplinar e interinstitucional, visando ampliar e melhorar os conhecimentos sobre a “ciência do risco”, cooperando no diálogo para conseguir uma abordagem balanceada sobre a regulamentação do risco. Deve-se salientar que entre as etapas e ações desenvolvidas desde a identificação do perigo, análise do risco e gerenciamento do risco, as atividades desenvolvidas envolvem o governo, a comunidade científica e o setor privado. O setor privado estará envolvido desde a pesquisa até a análise do risco, a comunidade científica acompanha desde o início da pesquisa até o gerenciamento, cabendo ao governo a tomada de decisão e a fiscalização (FOLONI, 2001). A figura 6 a seguir representa uma análise de risco e a quem compete sua responsabilidade.



**Figura 6** – Interrelação dentro de uma análise de risco e a quem compete sua responsabilidade (ALVES et al., 1999 apud FOLONI,2001).

Os pesticidas , devido a prevenção de perdas de produção oriundas de ataques de pragas, tem reduzido substancialmente o custo dos alimentos. Estes produtos fitossanitários também tem ajudado na melhoria da qualidade dos alimentos e contribuido com a diminuição da fome mundial com o aumento da produtividade .

O trabalho da FAO citado por FOLONI (2001), representa de forma bastante sumarizada os dados obtidos do presente estudo onde podem ser aplicados. A figura 7 a seguir representa a análise do risco beneficio como parte do desenvolvimento dos produtos fitossanitários.



**Figura 7** – A avaliação do risco e as análises de risco/benefício como parte de desenvolvimento dos produtos fitossanitários e do processo de registro (FAO, 1989 apud FOLONI, 2001)

A avaliação dos efeitos potenciais sobre o meio ambiente de pesticidas e a revisão dos produtos mais antigos é uma parte fundamental do processo de desenvolvimento e do controle regulatório (registro) desses pesticidas. Este processo garante que os produtos fitossanitários sejam usados de maneira a maximizar sua utilidade para o usuário e minimizar o risco para o meio ambiente, garantindo assim que o ecossistema agrícola seja protegido e possa ser utilizado no futuro como fonte contínua e constante de alimento (SOLOMON, 1996).

Na análise dos efeitos de um pesticida no ecossistema é imprescindível o levantamento ou a determinação de muitos dados sobre os efeitos tóxicos em organismos indicadores selecionados em cada um dos compartimentos do ecossistema e o consequente uso destes dados para estabelecer as concentrações ambientais esperadas que não causem, a curto e em longo prazo, efeitos observáveis nestes organismos e, por inferência, em todos os organismos de um compartimento ambiental. Desta forma, conhecendo-se os mecanismos de dispersão, distribuição e transporte das concentrações do composto nos distintos compartimentos de um ecossistema e seus efeitos em organismos indicadores selecionados de

cada um dos compartimentos, é possível combinar estas informações em uma expressão numérica que seja útil para medir e valorizar o risco ambiental destes compostos químicos, para uma posterior recomendação em um sistema de produção agrícola.

NICOLELLA (1998) cita a dificuldade de encontrar, gerar e disponibilizar um banco de dados, em razão da quase inexistência no Brasil de informações detalhadas, tão relevantes para a execução de pesquisas relacionadas à modelagem de movimento de soluto no ambiente.

Com o objetivo de verificar o possível impacto ambiental que os inseticidas organofosforados provocam no meio ambiente, YENIGÜN e SOHTORIK (1995) calcularam através do modelo de fugacidade nível II este dano. Os autores concluíram que dos 20 inseticidas organofosforados analisados, somente 8 destes pesticidas apresentaram baixa tendência de concentrar nos compartimentos ambientais e que 12 destes inseticidas apresentaram alta tendência de concentrar, persistir e contaminar os compartimentos ar, água, solo, sedimento, planta e biota do meio ambiente. Como forma de averiguar o que se obteve no modelo matemático é o monitoramento ambiental, o qual permite um melhor entendimento da distribuição entre os compartimentos, os processos específicos de concentração no ambiente e assim podendo extrapolar no espaço e tempo (VIGHI e DI GUARBO, 1995).

Além destas avaliações, pode citar avaliação de risco/benefício a qual envolve os riscos ao meio ambiente e a saúde humana em comparação aos benefícios que os agrotóxicos pode trazer, tais como, o controle de pragas, doenças e plantas daninhas; impacto na produção e na qualidade; e a relação custo/benefício. Por isso que um pesticida somente terá o seu registro autorizado, se os benefícios forem maior do que os riscos ao meio ambiente e a saúde humana (SEVERN e BALLARD, 1990; FOLONI, 2000).

Somente com a avaliação do risco toxicológico será possível conhecer a realidade, planejar as atividades preventivas e elaborar diretrizes adequadas para a autorização de agrotóxicos no Brasil. A adoção de modelos matemáticos para avaliação dose-resposta, avaliação da exposição e a caracterização do risco deve ser muito bem estudada, quanto a sua viabilidade. Pois poderiam ser melhores analisadas as diferentes variáveis que devem ser consideradas, diante de nosso cenário social, cultural, econômico, da situação dos serviços de saúde e da necessidade agrícola, para a construção de modelos adequados de quantificação. A importância da implantação da avaliação do risco toxicológico está na necessidade do país

estar em consonância e harmonia com seus parceiros comerciais, aliadas ao conhecimento das medidas preventivas adequadas para evitar danos à saúde (KOTAKA e ZAMBRONE, 2001).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Parâmetros e equações para o cálculo do nível I de fugacidade

O método da avaliação proposto neste projeto descreve as propriedades físico-químicas dos pesticidas usados nas culturas de algodão, arroz, café, cana-de-açúcar, citros, milho e soja. Os dados dos pesticidas necessários para calcular o seu potencial de distribuição unidade ambiental padrão através do modelo de fugacidade nível I são: o estado iônico, a constante de dissociação ácida (pKa) ou básica (pKb), a massa molar (M), a temperatura de fusão ( $P_f$ ), a pressão de vapor ( $P_v$ ), a solubilidade aquosa  $S$ , o coeficiente de partição entre octanol e a água  $K_{ow}$ , o coeficiente de partição entre o carbono orgânico e a água ( $K_{oc}$ ) e o fator de bioconcentração (BCF), bem como a dose letal que mata cinquenta por cento de indivíduos de uma população indicadora ( $DL_{50}$ ) (THE E- PESTICIDE MANUAL, 2001).

Os parâmetros físico-químicos e ambientais no modelo de fugacidade nível I (MACKAY, 1991; PARAÍBA, 1999) permitem estimar, valores teóricos de concentrações ambientais esperadas de cada um dos pesticidas utilizados em um determinado sistema de produção agrícola, aplicando fórmulas matemáticas (MACKAY e PATERSON, 1981; MACKAY, 1991) para exprimir o grau de letalidade destas concentrações em cada um dos compartimentos ambientais considerados na modelização.

O modelo de fugacidade nível I foi descrito de tal forma que a fugacidade se relaciona com a concentração  $C$ , em  $mol \cdot m^{-3}$ , através da capacidade de fugacidade  $Z$  dada em  $mol \cdot m^{-3} \cdot Pa^{-1}$ . Assim, pode-se calcular a concentração de um composto em um compartimento pela equação  $C = Zf$  (7), onde  $f$  é a fugacidade dada em unidades de Pascal  $Pa$  (MACKAY e PATERSON, 1981; MACKAY 1991).

Em estado de equifugacidades os compartimentos com altas capacidades de fugacidade terão altas concentrações do composto. Portanto, a capacidade de fugacidade é uma medida da 'solubilidade' do composto em um determinado compartimento. Desta forma, cada compartimento necessita que seja definida a sua capacidade de fugacidade. Esta por sua vez é dependente da natureza do compartimento e das características físico-químicas do composto. Assim, os valores foram calculados pelo modelo de fugacidade nível I, onde:

$$C_{ij} = Z_{ij} f_i \quad (8) ; \text{ temos assim, } j = 1; 97 \text{ e } i = 1; 8:$$

$i = \text{ar (1), água (2), planta [raiz (3) , caule (4) e folha (5)], solo (6), sedimentos (7) e biota aquática (8) e } j = 1; 97 \text{ pesticidas.}$

No ar a fugacidade de um composto ( $f_a$ ) é igual à sua pressão de vapor, que quando expressa em concentração é dada pela equação:

$$f_a = C_a RT \quad (9)$$

onde  $C_a$ , em  $\text{mol m}^{-3}$ , é a concentração do composto no ar,  $R = 8.314 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$  é a constante universal dos gases e  $T$  é a temperatura absoluta em graus Kelvin<sup>0</sup>(K). Em consequência, a capacidade de fugacidade a partir do ar ( $Z_a$ ) é dada por

$$Z_a = \frac{1}{RT}. \quad (10)$$

Na água, a fugacidade de um composto dissolvido é aproximadamente equivalente à sua pressão parcial de vapor, descrita pela lei de Henry, a qual é proporcional a sua concentração, isto é:

$$f_w = HC_w \quad (11)$$

onde ( $f_w$ ) é a fugacidade do composto na água é expresso em unidades de Pascal  $\text{Pa}$ ,  $H$  ( $\text{Pa m}^3/\text{mol}$ ) é a constante de Henry do composto e  $C_w$ , em  $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$ , é a concentração na água.

Desta forma, a capacidade de fugacidade da água  $Z_w$  é dada por:

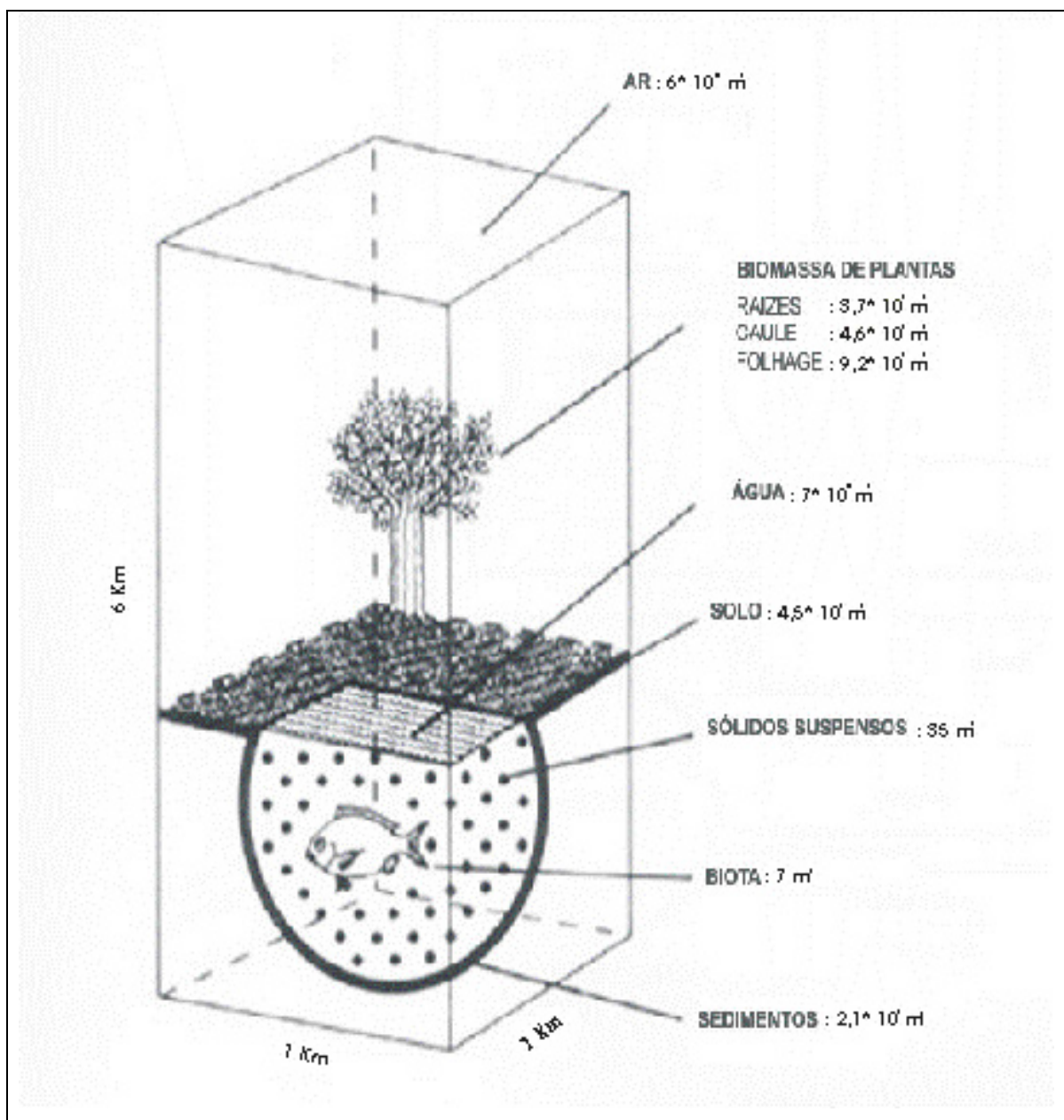
$$Z_w = \frac{1}{H} \quad (12)$$

Para outros compartimentos a fugacidade não possui uma relação direta com parâmetros físicos do composto é portanto a capacidade de fugacidade depende do conhecimento da capacidade do composto na água ou no ar (MACKAY, 1991). Por exemplo, para solo, sedimento, caule, folha e raiz a capacidade de fugacidade pode ser estimada pelas expressões de CALAMARI et al. (1987) e é recomendado pela Organization for Economic Cooperation and Development (OECD, 1991) na avaliação da distribuição ambiental de compostos orgânicos e pode ser observada a seguir na figura 8.

Nestas expressões a capacidade de fugacidade do solo  $Z_s$  é dada por:

$$Z_s = 0,2Z_a + 0,3Z_w + 0,5f_{oc}\rho_s K_{oc}Z_w \quad (13)$$

onde  $f_{oc}$  é a fração volumétrica de carbono orgânico do solo,  $\rho_s$  é a densidade do solo, expressa em  $g\ cm^{-3}$ ;  $K_{oc}$  é o coeficiente de partição do composto entre o carbono orgânico e a solução do solo. Os valores 0,2, 0,3 e 0,5 representam, respectivamente, o conteúdo volumétrico médio de ar, água e matéria sólida do solo.



**Figura 8** – Diagrama do padrão mundial de fugacidade representada pelas unidades dos compartimentos ambientais (ar, água, solo, sedimento, folha, caule, raiz e a biota) (VIGHI e FUNARY, 1995).

A capacidade de fugacidade do sedimento,  $Z_{sd}$ , é dada por:

$$Z_{sd} = 0,5Z_w + 0,5f_{oc}\rho_{sd}K_{oc}Z_w \quad (14)$$

onde  $\rho_{sd}$  é a densidade do sedimento, que é expressa em  $g\ cm^{-3}$ . Os valores 0,5 e 0,5 são, respectivamente, o conteúdo volumétrico médio de água e matéria sólida do sedimento.

A capacidade de fugacidade da planta é estimada dividindo-se a planta nos sub-compartimentos folha, caule e raiz. Na folha a capacidade de fugacidade  $Z_l$  pode ser estimada pela expressão:

$$Z_l = (0,18Z_a + 0,8Z_w + 0,02K_{ow}Z_w) \rho_l / \rho_w \quad (15)$$

onde  $\rho_l$ ,  $\rho_w$  e  $K_{ow}$  são, respectivamente, a densidade média das folhas, a densidade da água (expressa em  $g\ cm^{-3}$ ) e o coeficiente de partição do composto entre n-octanol e a água. Os valores 0,18, 0,8 e 0,02 representam, respectivamente, o conteúdo volumétrico médio de ar, água e lipídeos da folha.

No caule a capacidade de fugacidade  $Z_{st}$  é dada por:

$$Z_{st} = (0,18Z_w + 0,02K_{ow}Z_w) \rho_{st} / \rho_w \quad (16)$$

onde  $\rho_{st}$  é a densidade do caule, expresso em  $g/cm^3$ . Os valores 0,82 e 0,02 representam, respectivamente, o conteúdo volumétrico médio de água e lipídeos do caule. A capacidade de fugacidade da raiz  $Z_r$  é estimada pela relação:

$$Z_r = (0,82Z_w + 0,014K_{ow}Z_w) \rho_r / \rho_w \quad (17)$$

onde  $\rho_r$  é a densidade da raiz (expresso em  $g.cm^{-3}$ ). Os valores 0,82 e 0,014 representam, respectivamente, o conteúdo volumétrico médio de água e lipídeos da raiz. Consequentemente, a capacidade de fugacidade total da planta é estimada por:

$$Z_p = Z_r + Z_{st} + Z_l \quad (18)$$

Para os compartimentos de natureza biótica correspondentes a organismos residentes na água, como o zooplankton e o fitoplankton, a capacidade de fugacidade  $Z_b$  de um composto nestes compartimentos pode ser calculada por:

$$Z_b = Z_w BCF \quad (19)$$

$$BCF = BCF_n(1 - p) + pBCF_a \quad (20)$$

$$p = \frac{10^{(ph-pka)}}{1 + 10^{(ph-pka)}} \quad (21)$$

$$BCF_n = 10^{(0,76 \log(Kow) - 0,5)} \quad (22)$$

$$BCF_a = 10^{(0,76(\log(Kow) - 3,4) - 0,5)} \quad (23)$$

onde  $BCF$  é o fator de bioconcentração do composto no organismo aquático.

O modelo de fugacidade nível I foi concebido para um estado em que todas as fugacidades são iguais e constantes em todos os compartimentos; as capacidades de fugacidade,  $Z$ , são conhecidas e os processos de transferências e degradações são idealmente inexistentes. Nestas condições, mediante um conjunto de fórmulas matemáticas e conhecidos todos os termos/parâmetros/dados dos pesticidas pode-se calcular as concentrações percentuais do composto em cada um dos compartimentos ou determinar a distribuição percentual da massa total do composto. Assim, se cada compartimento  $i$  tem um volume bem definido  $V_i$ , a concentração em cada compartimento  $C_i$  é igual a  $f_i Z_i = f Z_i$  (24), onde  $f$  é a fugacidade predominante de equilíbrio. A quantidade do composto no compartimento  $i$ ,  $Q_i$ , expressa em  $mol$ , é  $Q_i = C_i V_i = f_i Z_i V_i$  (25)

a quantidade total do composto no sistema ambiental padrão é calculada por:

$$Q_T = f \sum_{i=1}^n Z_i V_i \quad (26)$$

Supondo-se que a quantidade total  $Q_T$  seja conhecida, a fugacidade pode ser calculada por

$$f = \frac{Q_T}{\sum_{i=1}^n Z_i V_i} \quad (27)$$

Em consequência, os valores individuais de  $C_i$  e  $Q_i$  podem ser estimados por  $C_i = f Z_i$  (28) e  $Q_i = C_i V_i$  (29), respectivamente. O percentual de distribuição da massa total do composto no compartimento  $i$ ,  $P_i$ , pode ser calculado pela equação:

$$P_i = \frac{Z_i V_i}{\sum_{i=1}^n Z_i V_i} 100\% \quad (30)$$

onde  $n$  é o número de compartimentos. Desta forma, os valores de  $P_i$  revelam o compartimento onde se encontra a maior percentagem do composto químico ou onde o compartimento tem uma maior solubilidade para o composto.

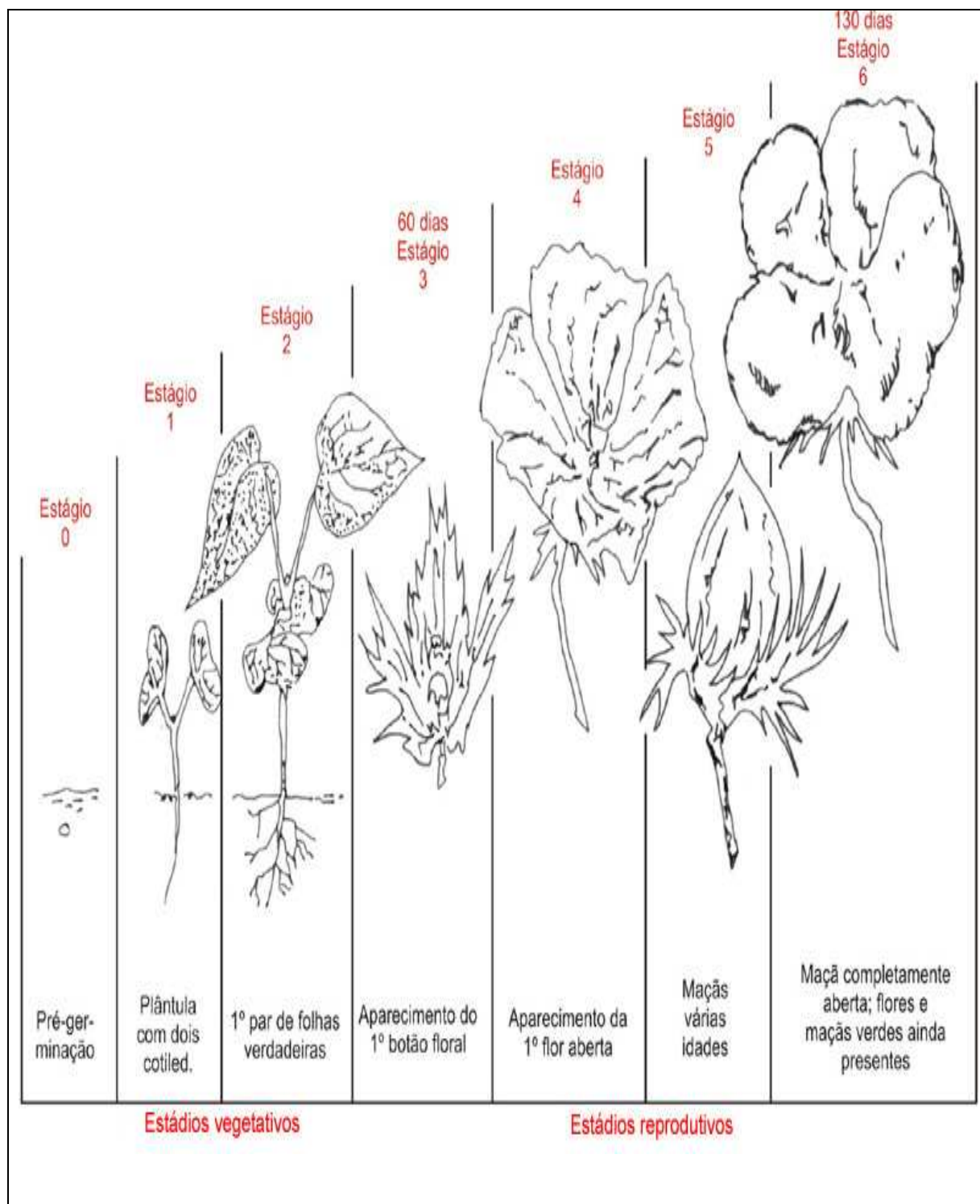
### **3.2 Estádios fenológicos das diferentes culturas com os respectivos pesticidas recomendados**

Os sistemas de produção agrícola convencional e plantio direto do algodão, arroz, café, cana-de-açúcar, citros, milho e soja estudados neste trabalho forneceram os principais pesticidas utilizados, e através do modelo matemático (MACKAY, 1991) determinaram quais os compartimentos ambientais preferenciais para se distribuir. Os pesticidas (fungicidas, herbicidas, inseticidas e acaricidas) de cada cultura trabalhados estão registrados para os sistemas de produções agrícolas anteriormente citados junto ao Ministério da Agricultura (WIN FIT, 2000). Para cada sistema de produção foram avaliados os principais pesticidas recomendados e divididos nas seguintes classes: fungicidas, inseticidas, herbicidas e acaricidas (ANDREI, 1999; 2003; SINDAG, 2002).

Nas figuras 9 a 15 estão descritos os estádios fenológicos das culturas trabalhadas, nas quais são recomendados a aplicação dos produtos fitossanitários ou pesticidas mostrados nas tabelas 1 a 7.

O pesticida glyphosate mesmo sendo o produto mais vendido em todo o mundo, devido sua característica impar, com o modelo de fugacidade nível I não foi possível avaliá-lo neste trabalho.

### 3.2.1 Algodão

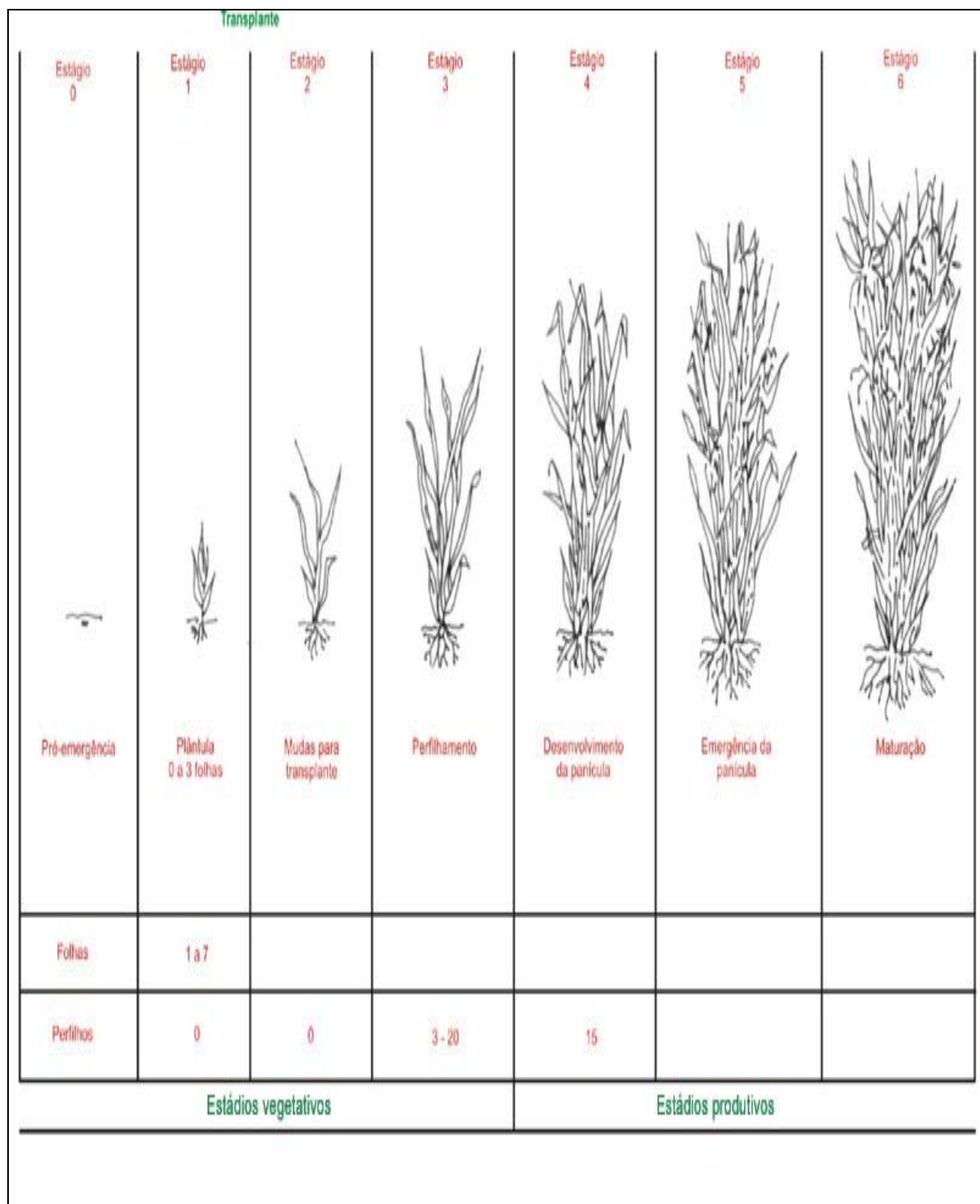


**Figura 9** - Estádios fenológicos da cultura do algodão (MARUR et al., 2002).

**Tabela 1** - Pesticidas recomendados durante o ciclo da cultura do algodão.

| Pré- Plantio                    | Fungicidas                                                                    | Inseticidas                                                                                                                                                                                                                              | Herbicidas                                                                       | Acaricidas |
|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Tratamento de Semente           | Tolyfluanid<br>Pencycuron<br>Triadimenol<br>Fludioxonil<br>Carboxin<br>Thiram | Carbofuran<br>Thiamethoxam<br>Imidacloprid                                                                                                                                                                                               |                                                                                  |            |
| Pós-Plantio                     | Fungicidas                                                                    | Inseticidas                                                                                                                                                                                                                              | Herbicidas                                                                       | Acaricidas |
| Manejo                          |                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                          | 2,4-D<br>Flumioxazin<br>Paraquat<br>Diuron<br>Carfentrazone-ethyl<br>Thidiazuron |            |
| Pré-Germinação                  |                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                          | Trifluralin<br>Clomazone<br>Diuron                                               |            |
| Pós-Germinação<br>Estágio 1 a 6 | Carbendazim<br>Tiofanato-<br>metílico<br>Tebuconazole<br>Azoxystrobin         | Deltametrina<br>Lufenuron<br>Teflubenzuron<br>Chlorfluazuron<br>Monocrotofos<br>Endosulfan<br>Carbosulfan<br>Carbofuran<br>Acetamiprid<br>Thiamethoxam<br>Diafentiuron<br>Aldicarb<br>Alfacipermetrina<br>Zetacypermetrina<br>Bifenthrin | Cletodim<br>Fluazifop-p-butil<br>Flumioxazin<br>MSMA<br>Diuron<br>Paraquat       | Endosulfan |

### 3.2.2 Arroz

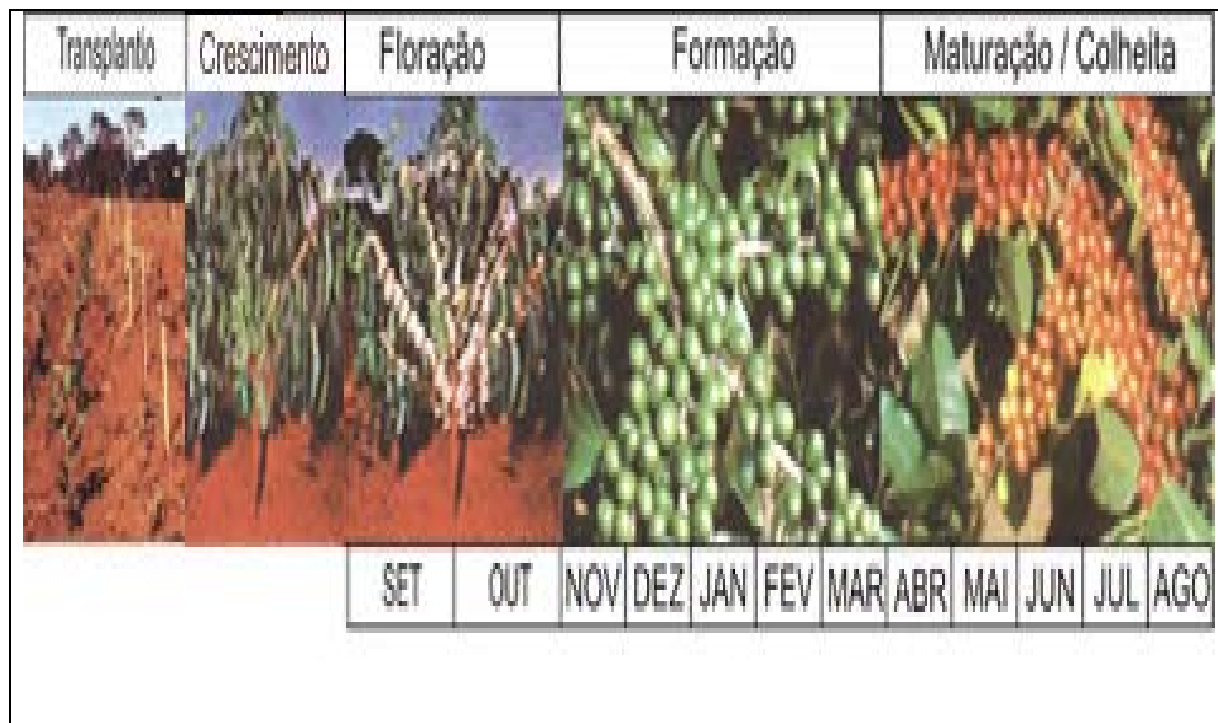


**Figura 10** - Estádios fenológicos da cultura do arroz (RIBEIRO et al., 1985).

**Tabela 2** - Pesticidas recomendados durante o ciclo da cultura do arroz.

| Pré-Plantio                      | Fungicidas         | Inseticidas                               | Herbicidas                                            | Acaricidas |
|----------------------------------|--------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------------------|------------|
| Tratamento de Semente            | Carboxin<br>Thiram | Carbofuran                                |                                                       |            |
| Manejo                           |                    |                                           | 2,4-D<br>Paraquat                                     |            |
| Pós-Plantio                      | Fungicidas         | Inseticidas                               | Herbicidas                                            | Acaricidas |
| Pré-Emergentes                   |                    |                                           | Clomazone<br>Propanil                                 |            |
| Pós-emergentes-<br>Estágio 1 a 6 | Tebuconazole       | Permethrin<br>Fipronil<br>Parathion metil | Quinclorac<br>Bispyribac sodium<br>Metsulfuron methyl |            |

### 3.2.3 Café

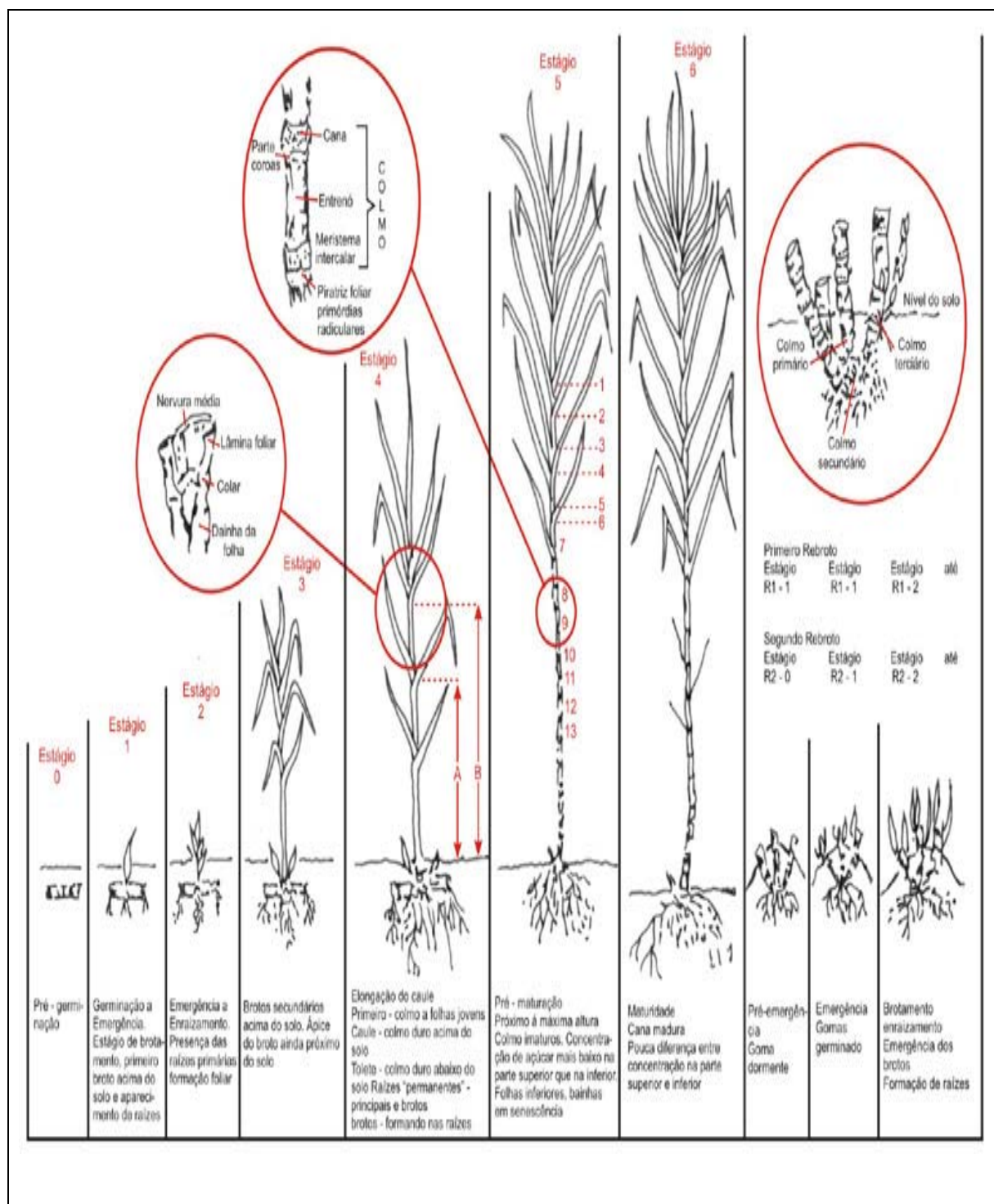


**Figura 11** - Estádios fenológicos da cultura do café (IBC, 1981).

**Tabela 3** - Pesticidas recomendados durante o ciclo da cultura do café.

| Pré-Plantio        | Fungicidas                                                                                                                                                               | Inseticidas                                                                                                                                                                      | Herbicidas                                        | Acaricidas  |
|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|-------------|
| Formação de mudas  | Pencycuron                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                  |                                                   | Azocyclotin |
| Pós-Plantio        | Fungicidas                                                                                                                                                               | Inseticidas                                                                                                                                                                      | Herbicidas                                        | Acaricidas  |
| Manejo             |                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                  | Paraquat<br>Diuron<br>2,4-D                       |             |
| Pré-Emergentes     |                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                  | Oxyfluorfen<br>Acetochlor<br>Ametrina<br>Simazine |             |
| Formação dos Grãos | Triadimenol<br>Cyproconazole<br>Dissulfoton<br>Epoconazole<br>Pyraclostrobin<br>Tetraconazole<br>Tebuconazole<br>T. metilico<br>Iprodione<br>Metconazole<br>Azoxystrobin | Thiamethoxam<br>Triadimenol<br>Dissulfoton<br>Aldicarb<br>Endosulfan<br>Betacyflutrin<br>Deltametrina<br>Cypermethrin<br>Profenofos<br>Fempopathrin<br>Triazophos<br>Clorpirifos |                                                   |             |

#### 4.2.4 Cana-de-açúcar

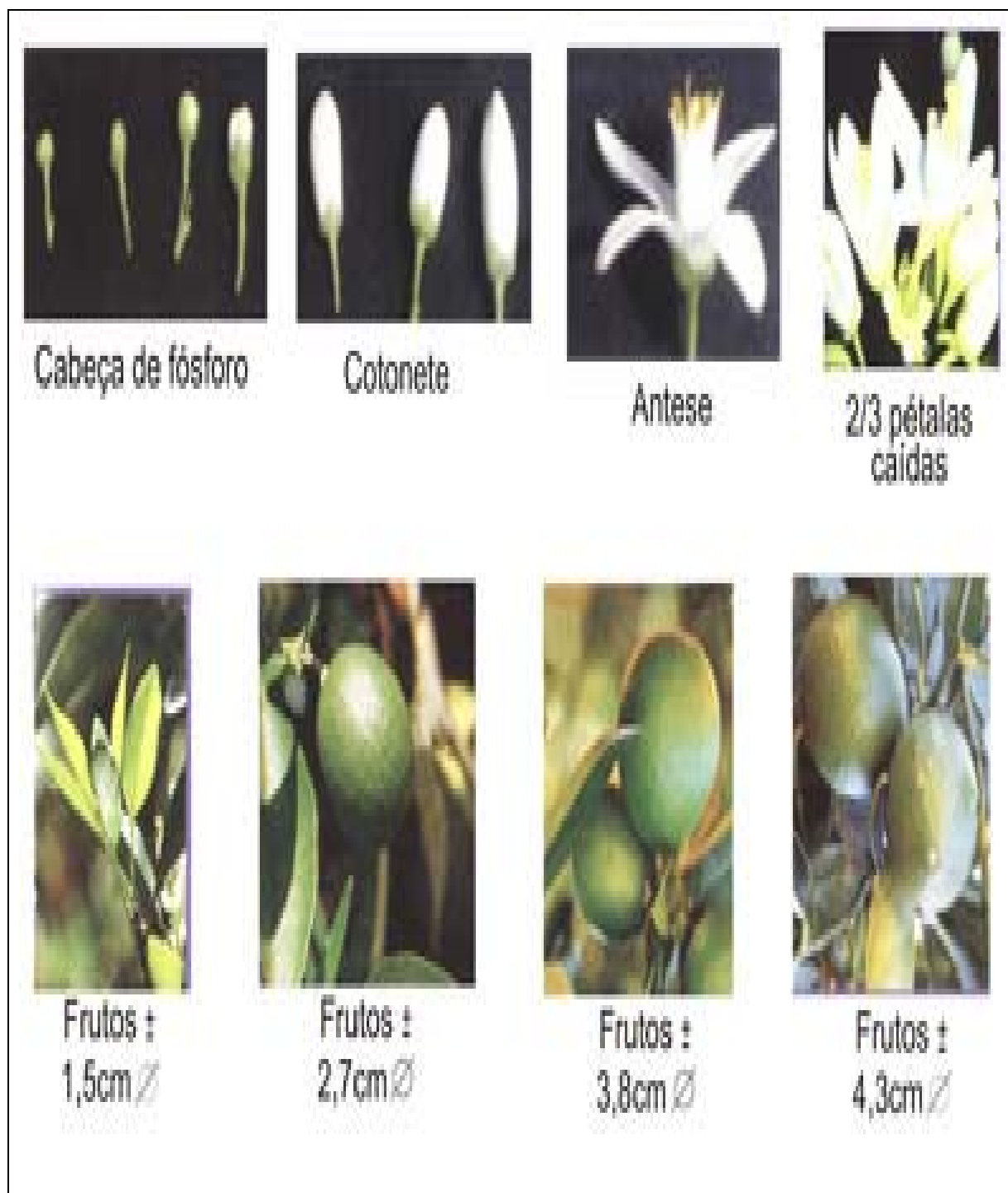


**Figura 12** - Estádios fenológicos da cultura da cana-de-açúcar (PARANHOS, et al., 1987).

**Tabela 4** - Pesticidas recomendados durante o ciclo da cultura da cana-de-açúcar.

| Pré-Plantio                   | Fungicidas                          | Inseticidas                          | Herbicidas                                                                              | Acaricidas |
|-------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Tratamento de Colmo           | Benomyl<br>Carbendazim<br>Iprodione | Fipronil<br>Endosulfan<br>Carbofuran |                                                                                         |            |
| Pós-Plantio                   | Fungicidas                          | Inseticidas                          | Herbicidas                                                                              | Acaricidas |
| Pré-Germinação<br>(Estágio 0) |                                     |                                      | Diuron<br>Ametrina<br>Metribuzim                                                        |            |
| (Estágio 1 e 2)               |                                     |                                      | Halosulfuron<br>Hexazinone<br>Tebuthiuron<br>Clomazone<br>Ametrina<br>2,4-D<br>Imazapic |            |
| (Estágio 6)                   |                                     |                                      | Fluazifop-p-butil                                                                       |            |

#### 4.2.5 Citros

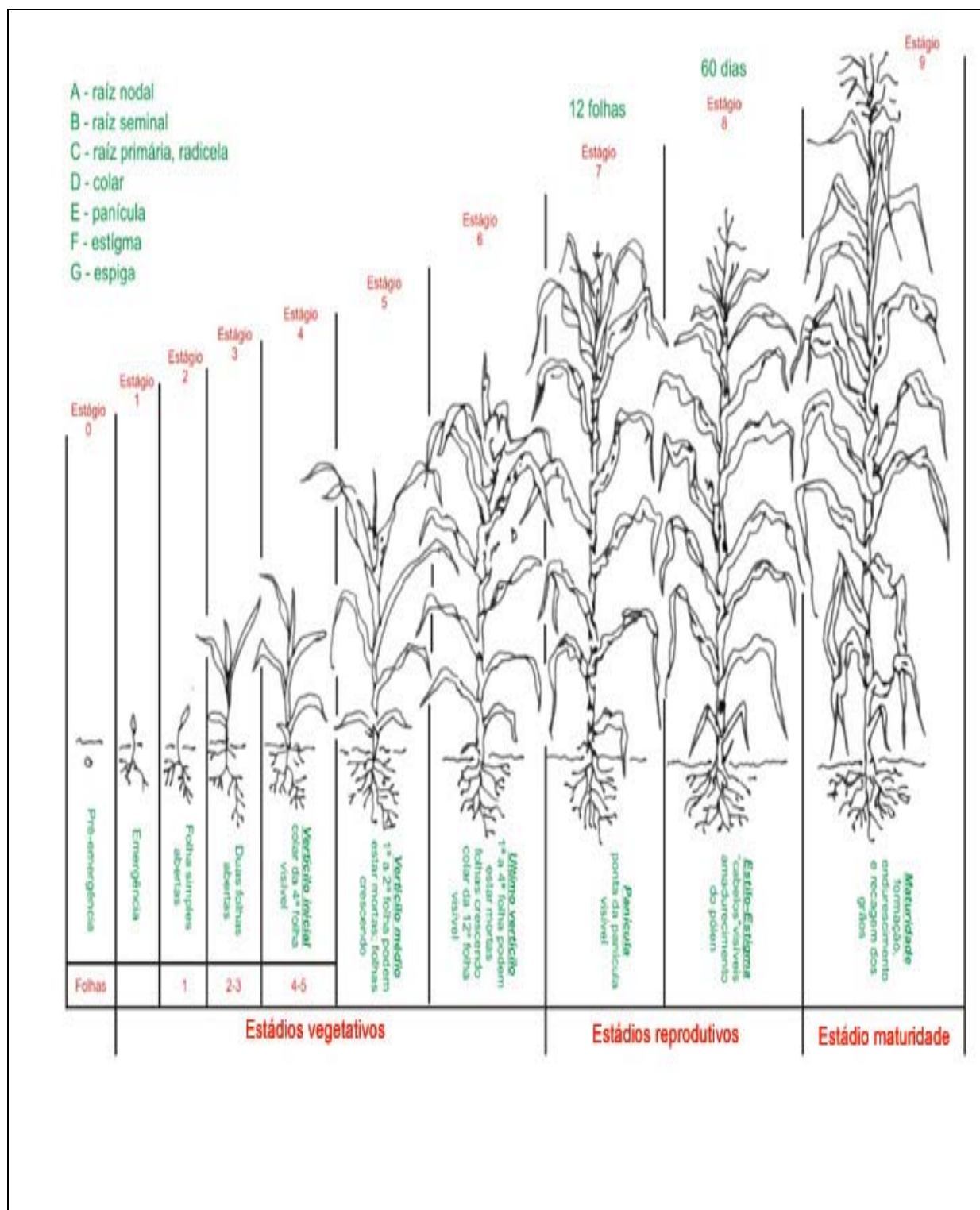


**Figura 13-** Estádios fenológicos da cultura do citros (FUNDECITRUS, 2000; AZEVEDO, 2001).

**Tabela 5** - Pesticidas recomendados durante o ciclo da cultura do citros.

| Pós-Plantio                                                               | Fungicidas                                                                | Inseticidas                                                                                                                          | Herbicidas                                                | Acaricidas                               |
|---------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| Manejo de Plantas Daninhas Latifolicidas e Graminicidas-Via Jato Dirigido |                                                                           |                                                                                                                                      | Paraquat<br>Diuron<br>2,4-D<br>Oxyfluorfen<br>Flumioxazin |                                          |
| Fase Cabeça de Fósforo                                                    |                                                                           | Aldicarb<br>Thiamethoxam                                                                                                             |                                                           |                                          |
| Fase Cotonete a Frutos de 4,3 cm Ø                                        | T. metilico<br>Difenoconazole<br>Benomyl<br>Carbendazim<br>Difenoconazole |                                                                                                                                      |                                                           |                                          |
| Frutos de 2,7 a 4,3 cm Ø                                                  |                                                                           | Bifethrin<br>Deltametrina<br>Acephate<br>Dimetoato<br>Ethion<br>Methidathion<br>Fenthion<br>Fempropathrin<br>Triclorfon<br>Abamectin |                                                           | Hexythiazox<br>Propargite<br>Acrinathrin |

## 4.2.6 Milho

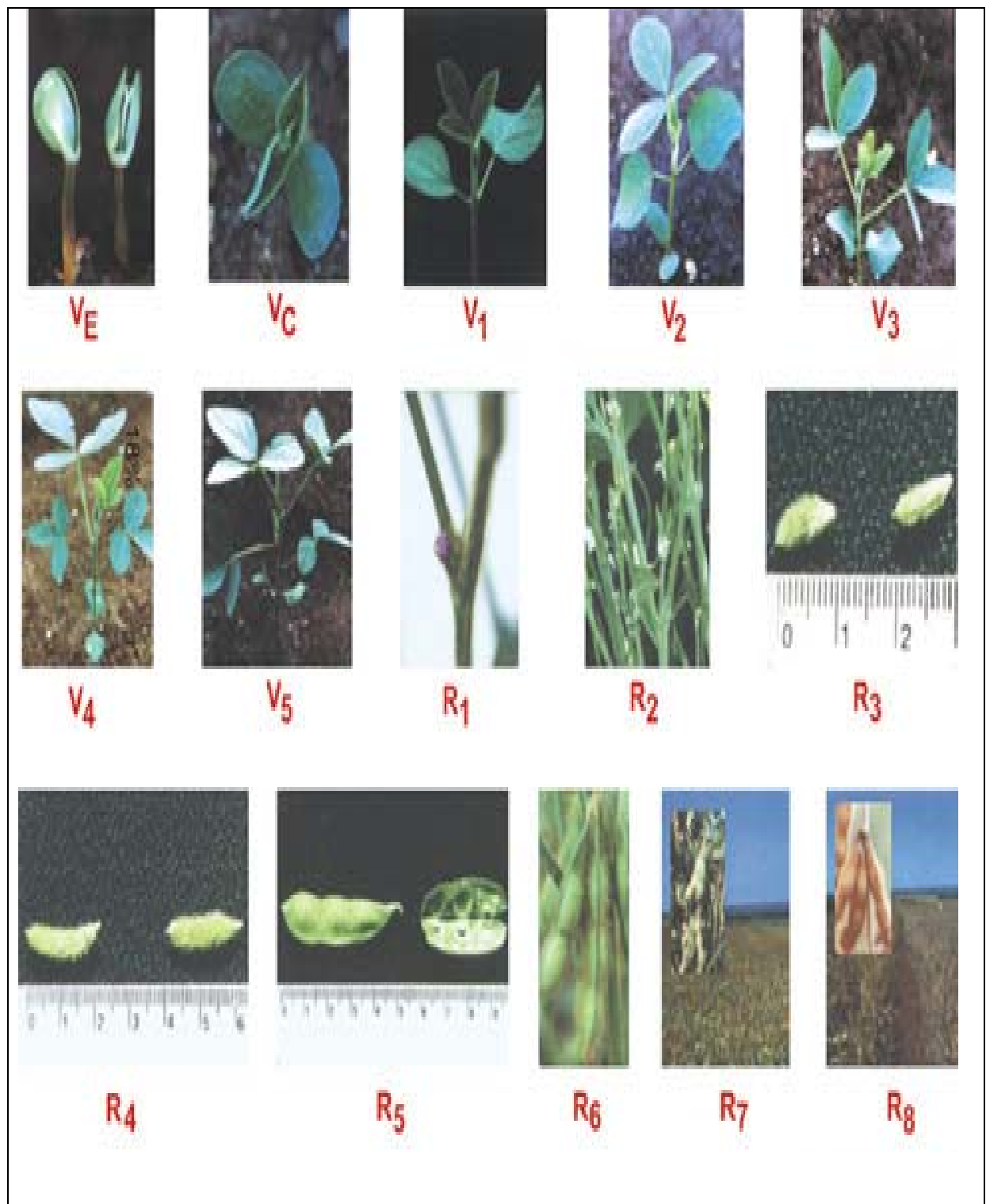


**Figura 14** - Estádios fenológicos da cultura do milho (FANCELLI et al., 1986).

**Tabela 6** - Pesticidas recomendados durante o ciclo da cultura do milho.

| Pré-Plantio                                        | Fungicidas                                                            | Inseticidas                                                                                                             | Herbicidas                                                      | Acaricidas |
|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|------------|
| Manejo                                             |                                                                       |                                                                                                                         | 2,4-D<br>Paraquat                                               |            |
| Tratamento de Semente                              | Fludioxonil<br>Carboxin<br>Thiram                                     | Carbofuran<br>Thiodicarb<br>Thiamethoxam                                                                                |                                                                 |            |
| Pós-Plantio                                        | Fungicidas                                                            | Inseticidas                                                                                                             | Herbicidas                                                      | Acaricidas |
| Pré-emergência<br>(Estágio 0)                      |                                                                       |                                                                                                                         | Atrazina<br>Simazine<br>Metalocloro<br>Alachlor<br>Nicosulfuron |            |
| Pós-Emergente-<br>Jato Dirigido<br>(Estágio 1 a 3) |                                                                       |                                                                                                                         | Paraquat<br>Diuron                                              |            |
| (Estágio 3 a 6)                                    |                                                                       | Permethrin<br>Lambdacyhalothrin<br>Lufenuron<br>Chlorfluazuron<br>Clorpirifos<br>Metomyl<br>Metamidofos<br>Monocrotofos |                                                                 |            |
| (Estágio 6 a 8)                                    | Tebuconazole<br>Azoxystrobin<br>Carbendazim<br>Benomyl<br>T. metilico |                                                                                                                         |                                                                 |            |

### 3.2.7 Soja



**Figura 15** - Estádios fenológicos da cultura da soja (STOLLER, 19??).

**Tabela 7 - Pesticidas recomendados durante o ciclo da cultura da soja.**

| Pré-Plantio           | Fungicidas                                                                       | Inseticidas                                                                                                               | Herbicidas                                                                                                                                       | Acaricidas |
|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Manejo                |                                                                                  |                                                                                                                           | 2,4-D<br>Flumioxazin                                                                                                                             |            |
| Tratamento de Semente | Thiram<br>Tolyfluanid<br>Fludioxonil<br>Carbendazim<br>Carboxin<br>Thiabendazole | Fipronil                                                                                                                  |                                                                                                                                                  |            |
| Pós-Plantio           | Fungicidas                                                                       | Inseticidas                                                                                                               | Herbicidas                                                                                                                                       | Acaricidas |
| Pré-Emergente         |                                                                                  |                                                                                                                           | Trifluralin<br>Metalcloro<br>Flumetsulam<br>Imazaquim<br>Pendimethalin<br>Lactofen<br>Fomesafen<br>Clorimuron etílico<br>Imazetapir<br>Fomesafen |            |
| (Estádio VE a R5)     |                                                                                  | Lambdacyhalothrin<br>Diflubenzuron<br>Triflumuron<br>Monocrotofos<br>Metamidofos<br>Endosulfan<br>Acephate<br>Clorpirifos |                                                                                                                                                  |            |
| (Estádio R1 a R6)     | Carbendazim<br>T. metílico<br>Tebuconazole<br>Difenoconazole<br>Azoxystrobin     |                                                                                                                           |                                                                                                                                                  |            |
| (Estádio R8)          |                                                                                  |                                                                                                                           | Diquat<br>Paraquat                                                                                                                               |            |

### 3.3. Valores das características físico-químicas dos pesticidas

**Tabela 8-** Valores das características físico-químicas dos pesticidas estudados

| Pesticidas          | Peso molecular<br>( $g\ mol^{-1}$ ) | Pressão Vapor<br>(Pa) | Kow         | Solubilidade<br>( $mg\ L^{-1}$ ) | Lei de Henry<br>( $Pa.m^3\ mol^{-1}$ ) | Koc<br>( $mL\ g^{-1}$ ) |
|---------------------|-------------------------------------|-----------------------|-------------|----------------------------------|----------------------------------------|-------------------------|
| 2,4-D               | 140,5                               | 0,00001               | 2,13796     | 23180                            | 0,00001                                | 0,06                    |
| abamectin           | 873,1                               | 3,70 E-06             | 25118,8643  | 0,01                             | 0,0027                                 | 1,39488                 |
| acephate            | 183,2                               | 0,00022               | 0,13803     | 0,79                             | 0,05240                                | 0,00247                 |
| acetamiprid         | 222,7                               | 1,00 E-06             | 6,30957     | 4250                             | 5,24 E-08                              | 0,01872                 |
| acetochlor          | 269,8                               | 0,4                   | 13803,84265 | 223                              | 0,48394                                | 1,02173                 |
| acrinathrin         | 541,4                               | 4,40 E-08             | 398107,1706 | 0,02                             | 0,048                                  | 319,61                  |
| alachlor            | 269,8                               | 0,002                 | 1230,26877  | 170,31                           | 0,0032                                 | 0,29062                 |
| aldicarb            | 190,3                               | 0,00119               | 304579,3963 | 4930                             | 0,00004                                | 0,02                    |
| alfacipermetrina    | 416,3                               | 0,00002               | 8709635,9   | 0,01                             | 0,069                                  | 29,19693                |
| ametrina            | 227,3                               | 0,00036               | 426,57951   | 200                              | 0,00041                                | 0,3                     |
| atrazina            | 215,7                               | 0,00003               | 316,22776   | 33                               | 0,00015                                | 0,173                   |
| azocyclotin         | 436,2                               | 6,00 E-11             | 199526,2315 | 0,12                             | 0,07                                   | 4,09767                 |
| azoxystrobin        | 403,4                               | 1,10 E-10             | 316,22776   | 6                                | 7,30 E-09                              | 0,14339                 |
| benomyl             | 290,3                               | 5,00 E-06             | 23,44228    | 0,0029                           | 0,0004                                 | 1,9                     |
| betacyflutrin       | 434,3                               | 1,40 E-08             | 870963,59   | 0,0021                           | 0,00289                                | 8,81733                 |
| bifenthrin          | 422,9                               | 0,00002               | 1000000     | 0,001                            | 102                                    | 302                     |
| bispyribac sodium   | 452,4                               | 5,05 E-09             | 0,09332     | 73300                            | 3,12 E-11                              | 0,00209                 |
| carbendazim         | 191,2                               | 0,00015               | 32,35937    | 8                                | 0,0036                                 | 0,25                    |
| carbofuran          | 221,3                               | 0,00007               | 33,11311    | 351                              | 2,05 E-07                              | 0,04435                 |
| carbosulfan         | 380,5                               | 0,00004               | 251188,6    | 0,3                              | 0,052                                  | 4,61888                 |
| carboxin            | 235,3                               | 0,00002               | 158,48931   | 199                              | 0,00002                                | 0,373                   |
| carfentrazone-ethyl | 412,2                               | 0,00001               | 2290,8677   | 12                               | 0,00024                                | 0,40154                 |
| chlorfluazuron      | 540,7                               | 1,00 E-08             | 630957,344  | 0,01                             | 0,00054                                | 7,45653                 |
| clomazone           | 239,7                               | 0,0192                | 316,22776   | 1100                             | 0,00419                                | 0,562                   |
| clorimuron etílico  | 414,8                               | 4,90 E-10             | 1,28825     | 1200                             | 1,70 E-10                              | 0,00819                 |
| clorpirifos         | 350,6                               | 0,0027                | 50118,72336 | 1,4                              | 0,676                                  | 6,925                   |
| cypermethrin        | 416,3                               | 2,00 E-07             | 3981071,706 | 0,004                            | 0,02                                   | 100                     |
| cyproconazole       | 291,8                               | 0,00003               | 812,83051   | 140                              | 0,00007                                | 0,23428                 |
| deltametrina        | 505,2                               | 1,24 E-08             | 39810,72    | 2,00 E+08                        | 0,0313                                 | 8380                    |
| diafenthiuron       | 384,6                               | 2,00 E-06             | 575439,9373 | 0,06                             | 0,0128                                 | 7,10783                 |
| difenoconazole      | 406,3                               | 3,30 E-08             | 15848,93192 | 15                               | 1,50 E-06                              | 1,09783                 |
| diflubenzuron       | 310,7                               | 1,20 E-07             | 7762,47116  | 0,08                             | 0,01164                                | 0,75742                 |
| dimetoato           | 229,3                               | 0,00025               | 5,05824     | 0,0238                           | 1,60 E-06                              | 0,01669                 |
| diquat              | 344,1                               | 0,00001               | 0,00002     | 700000                           | 5,00 E-09                              | 1000                    |
| disulfoton          | 274,4                               | 0,013                 | 8912,50938  | 25                               | 0,24                                   | 0,81383                 |
| diuron              | 233,1                               | 1,10 E-06             | 707,94578   | 36,4                             | 7,04 E-06                              | 0,4                     |
| endosulfan          | 406,9                               | 0,00083               | 54954,09    | 0,32                             | 1,48                                   | 20                      |
| epoxiconazole       | 329,8                               | 0,00001               | 2754,22870  | 6,63                             | 0,00047                                | 1,8                     |
| ethion              | 385,4                               | 0,0002                | 19054,6072  | 2                                | 0,0385                                 | 1,20819                 |
| fenpropathrin       | 349,4                               | 0,00073               | 1000000     | 0,0141                           | 18,08950                               | 9,47408                 |
| fenthion            | 278,3                               | 0,0014                | 69183,0971  | 4,2                              | 0,05                                   | 2,36231                 |
| fipronil            | 437,2                               | 3,70 E-07             | 10000       | 1,9                              | 0,00003                                | 1,248                   |
| fluazifop-p-butyl   | 383,4                               | 0,00003               | 31622,78    | 1,1                              | 0,011                                  | 0,084                   |
| fludioxonil         | 248,2                               | 3,90 E-07             | 13182,56739 | 1,8                              | 0,00005                                | 0,99755                 |

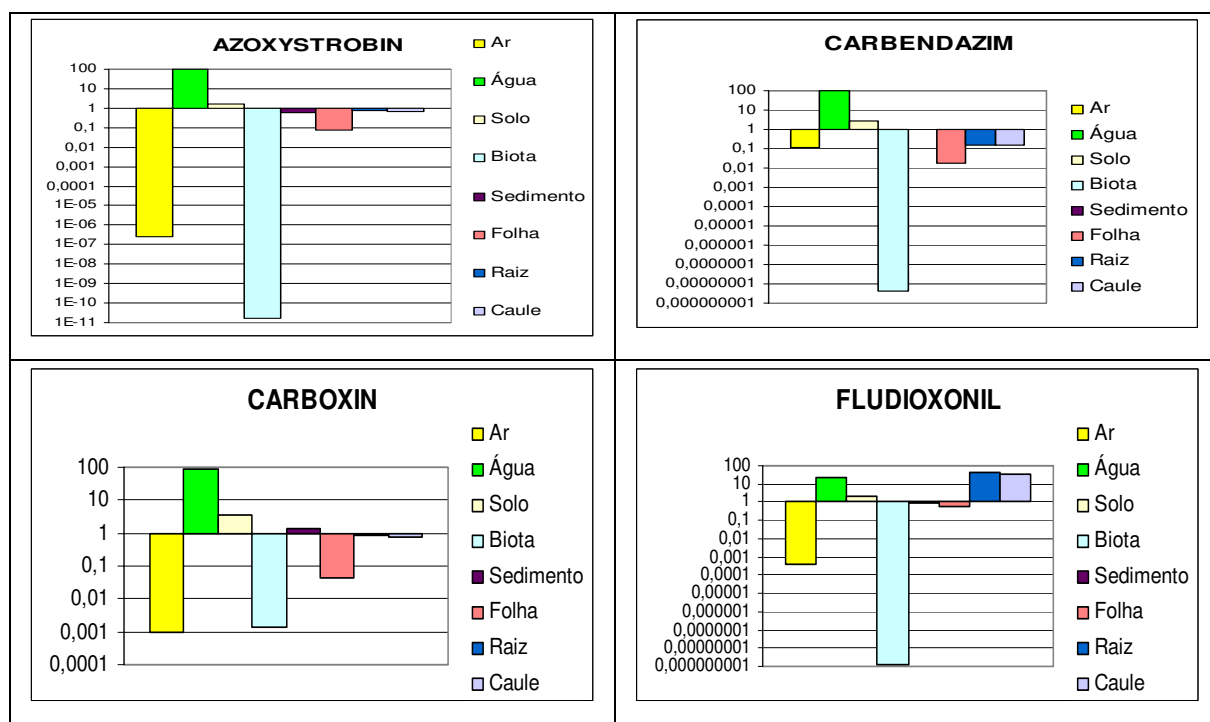
|                    |       |           |             |         |             |          |
|--------------------|-------|-----------|-------------|---------|-------------|----------|
| flumetsulam        | 325,3 | 3,70 E-10 | 0,20893     | 49      | 2,46 E-09   | 0,182    |
| flumioxazin        | 354,3 | 0,00032   | 674,37448   | 1790    | 0,00006     | 0,21034  |
| fomesafen          | 438,8 | 4,00 E-06 | 794,32823   | 50      | 2,00 E-07   | 0,23149  |
| halosulfuron       | 434,8 | 0,00001   | 0,95807     | 1650    | 2,6352 E-06 | 0,00702  |
| hexazinone         | 252,3 | 0,00003   | 15,84893    | 330000  | 2,2936 E-08 | 0,03023  |
| hexythiazox        | 352,9 | 3,40 E-06 | 338,84415   | 0,5     | 0,0024      | 6,2      |
| imazapic           | 275,3 | 0,00001   | 2,47172     | 2150    | 1,28 E-06   | 0,01150  |
| imazaquim          | 311,3 | 0,00001   | 2,18776     | 120     | 0,00003     | 0,02     |
| imazetapir         | 289,3 | 0,00001   | 10,96478    | 140     | 0,00002     | 0,02496  |
| imidacloprid       | 255,7 | 9,00 E-10 | 3,71535     | 610     | 3,7726 E-10 | 0,01422  |
| iprodione          | 330,2 | 5,00 E-07 | 1000        | 13      | 0,00001     | 1,551    |
| lactofen           | 461,8 | 9,30 E-06 | 1315886,03  | 1       | 0,00456     | 10       |
| lambda-cyhalothrin | 449,9 | 2,00 E-07 | 10000000    | 0,005   | 0,02        | 330      |
| lufenuron          | 511,2 | 4,00 E-06 | 131825,6739 | 0,06    | 0,0341      | 3,30321  |
| metamidofos        | 141,1 | 0,0047    | 0,15848     | 200000  | 1,60 E-06   | 0,00275  |
| metconazole        | 319,8 | 0,00001   | 7079,45784  | 15      | 0,00026     | 0,51054  |
| methidathion       | 302,3 | 0,00025   | 158,48931   | 200     | 0,00033     | 0,10012  |
| metomyl            | 162,2 | 0,00072   | 1,23879     | 57900   | 2,13 E-06   | 0,072    |
| metribuzin         | 214,3 | 0,00005   | 39,81072    | 1050    | 0,00001     | 0,03023  |
| metsulfuron methyl | 381,4 | 3,30 E-10 | 0,01819     | 550     | 2,30 E-10   | 0,00089  |
| monocrotofos       | 223,2 | 0,00029   | 0,60256     | 1000000 | 6,47 E-08   | 0,001    |
| msma               | 162   | 0,00001   | 0,79432     | 14      | 0,00011     | 1,555    |
| nicosulfuron       | 410,4 | 8,00 E-10 | 0,01584     | 70      | 4,68 E-09   | 0,00083  |
| oxyfluorfen        | 361,7 | 0,00002   | 29512,092   | 0,116   | 0,08325     | 1,51683  |
| paraquat           | 257,2 | 0,00001   | 4,5         | 700000  | 9,00 E-09   | 1000     |
| parathion metil    | 263,2 | 0,00041   | 1000        | 55000   | 0,00857     | 5        |
| pencycuron         | 328,8 | 5,00 E-10 | 47863,00923 | 0,3     | 5,00 E-07   | 1,95046  |
| pendimethalin      | 281,3 | 0,004     | 151356,125  | 0,3     | 3,75066     | 3,54925  |
| permethrin         | 391,3 | 2,50 E-06 | 1258925,41  | 0,006   | 0,16304     | 10,67916 |
| profenofos         | 373,6 | 0,00012   | 27542,28703 | 28      | 0,00165     | 1,46331  |
| propanil           | 218,1 | 0,00005   | 1995,26231  | 130     | 0,00008     | 0,8      |
| propargite         | 350,5 | 6,00 E-06 | 5370,31796  | 632     | 3,33 E-06   | 90       |
| pyraclostrobin     | 387,8 | 2,60 E-09 | 9772,37221  | 1,9     | 5,30 E-06   | 16       |
| quinclorac         | 242,1 | 0,00001   | 0,07079     | 0,065   | 0,0372      | 0,00181  |
| simazine           | 201,7 | 2,94 E-06 | 125,89254   | 6,2     | 0,00005     | 0,277    |
| s-metalocloro      | 283,3 | 0,0037    | 1122,01845  | 480     | 0,00218     | 0,27703  |
| tebuconazole       | 307,8 | 1,70 E-06 | 5011,87233  | 36      | 0,00001     | 0,60330  |
| tebuthiuron        | 228,3 | 0,0027    | 61,65950    | 2500    | 0,00024     | 0,06128  |
| teflubenzuron      | 381,1 | 8,00 E-10 | 19952,62315 | 0,019   | 0,00001     | 1,23747  |
| tetraconazole      | 372,1 | 0,00018   | 3630,78054  | 156     | 0,00036     | 1,922    |
| thiabendazole      | 201,3 | 4,40 E-07 | 245,47089   | 160     | 2,70 E-08   | 0,12570  |
| thiamethoxam       | 291,7 | 6,60 E-09 | 0,74131     | 4100    | 4,70 E-10   | 0,00615  |
| thidiazuron        | 220,2 | 4,00 E-09 | 58,88436    | 31      | 2,841 E-08  | 0,05983  |
| thiodicarb         | 354,5 | 0,0057    | 41,68693    | 35      | 0,0431      | 0,35     |
| thiram             | 240,4 | 0,0023    | 53,70317    | 18      | 0,03071     | 0,05703  |
| tiofanato metilico | 342,4 | 9,50 E-06 | 31,62277    | 3,5     | 0,00092     | 1,8      |
| tolyfluanid        | 347,3 | 0,0002    | 7943,2823   | 0,9     | 0,0775      | 0,76654  |
| triadimenol        | 295,8 | 6,00 E-07 | 1905,46071  | 62      | 2,862 E-06  | 0,36486  |
| triazophos         | 313,3 | 0,00039   | 2187,76162  | 39      | 0,00313     | 0,39204  |
| triclorfon         | 257,4 | 0,0005    | 2,69153     | 0,12    | 4,40 E-07   | 0,02     |
| triflururon        | 358,7 | 4,00 E-08 | 81283,05162 | 0,025   | 0,13005     | 2,56884  |
| trifluralin        | 335,3 | 0,0061    | 67608,29754 | 0,221   | 15          | 40       |
| zetacypermethrin   | 416,3 | 2,50 E-07 | 9658564,145 | 0,045   | 0,00202     | 54       |

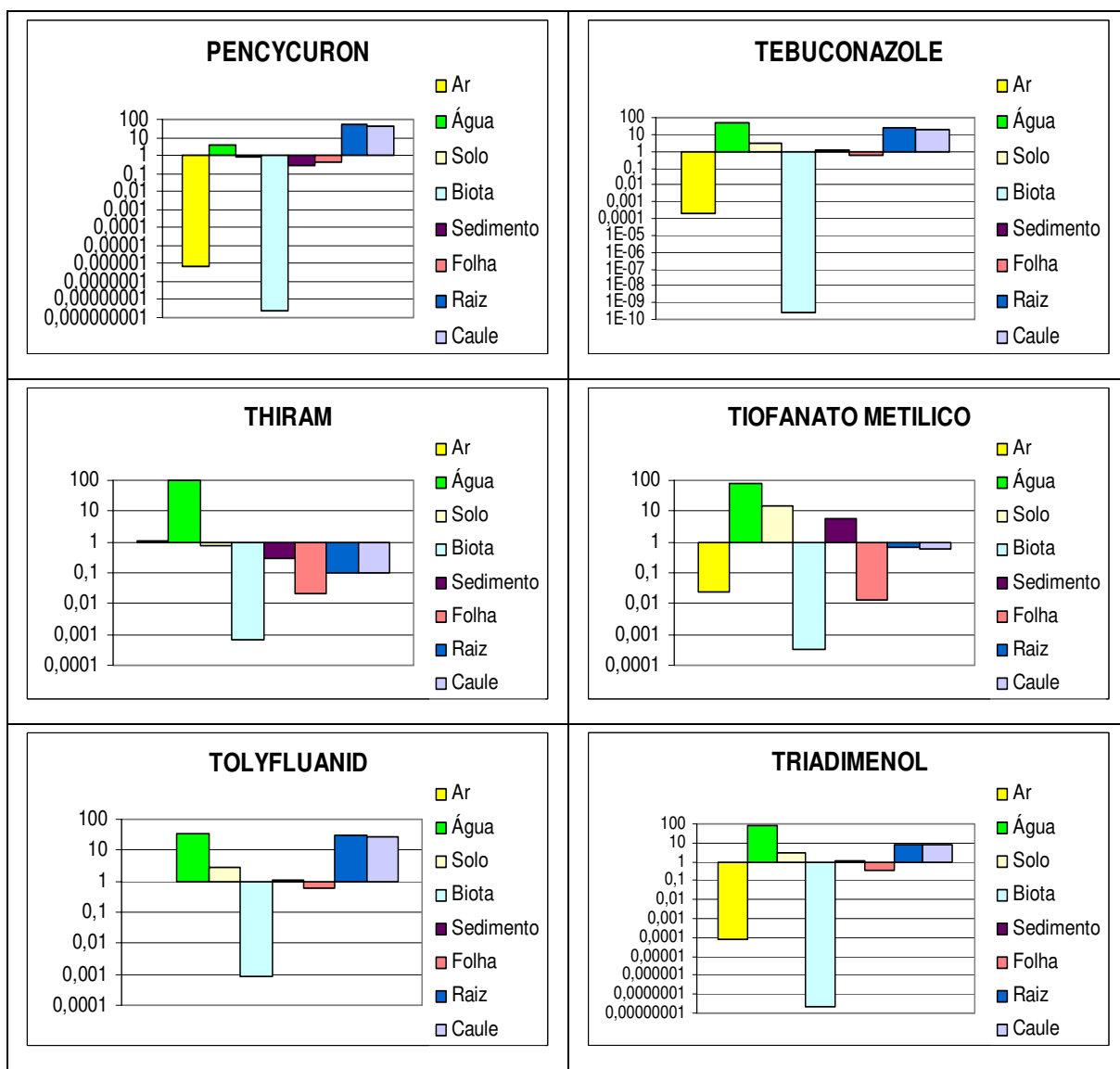
## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 FUGACIDADE DOS PESTICIDAS RECOMENDADOS PARA A CULTURA DO ALGODÃO

#### 4.1.1 Fungicidas

Verificou-se na figura 16, que os fungicidas pencycuron mostrou afinidade com o compartimento caule e raiz. Tebuconazole, fludioxinil, triadimenol e tolyfluanid apresentaram-se distribuírem preferencialmente pelo compartimento água, caule e raiz. O produto tiofanato metílico apresentou tendência pelo compartimento água e solo, já os fungicidas thiran, carbendazin, carboxin e azoxystrobin mostraram preferência pela água.



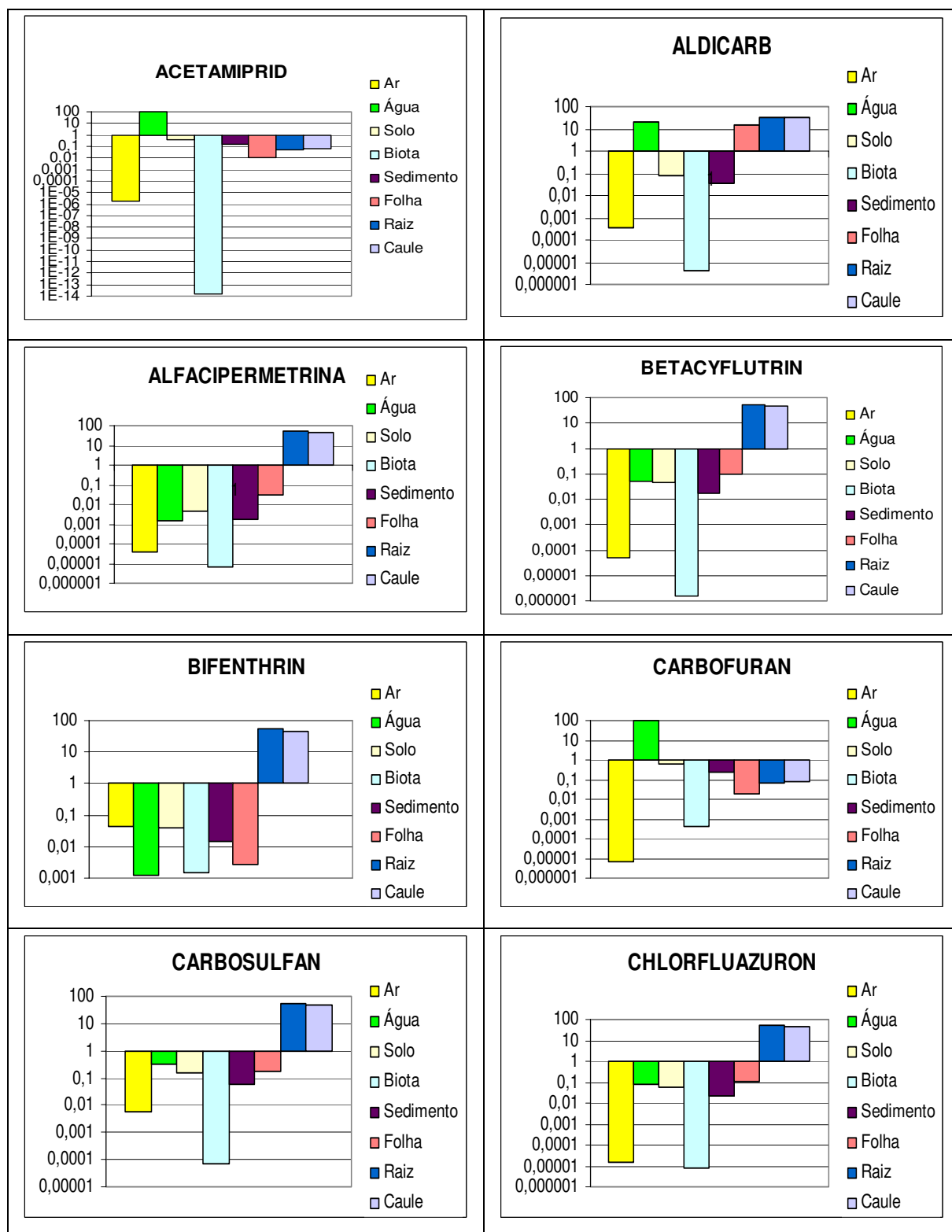


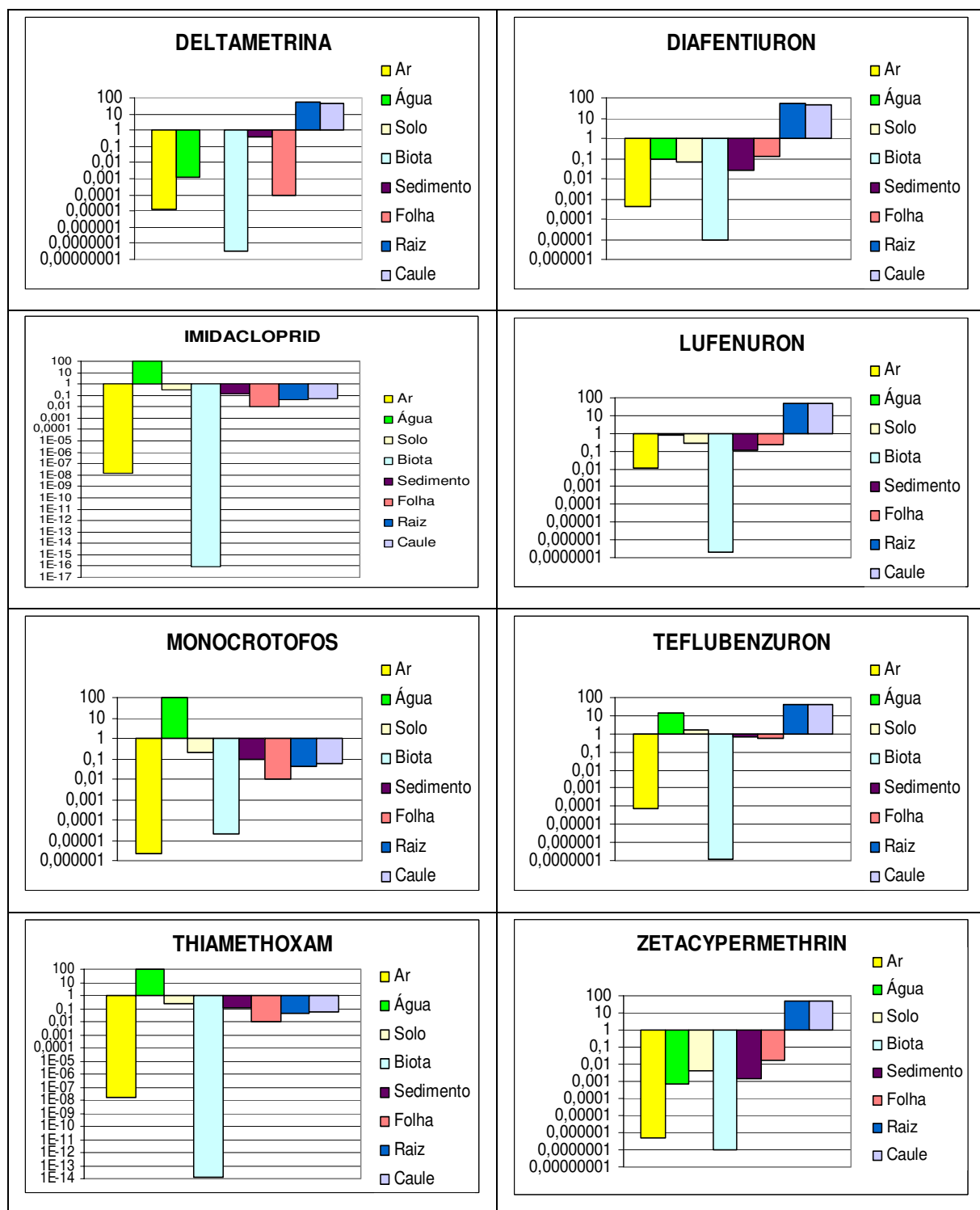
**Figura 16** - Diagramas da distribuição dos fungicidas pelos vários compartimentos ambientais estudados na cultura do algodão após a aplicação do Modelo de Mackay (1991).

#### 4.1.2 Inseticidas

Pelos resultados obtidos na figura 17, verificou-se que os inseticidas acetamiprid, aldicarb, carbofuran, imidacloprid, monocrotofós, e thiamethoxan mostraram-se preferencialmente pela distribuição no compartimento água. Teflubenzuron mostrou afinidade

com os compartimentos água, caule e raiz. Os demais inseticidas avaliados mostraram preferencialmente pela distribuição no compartimento raiz e caule.

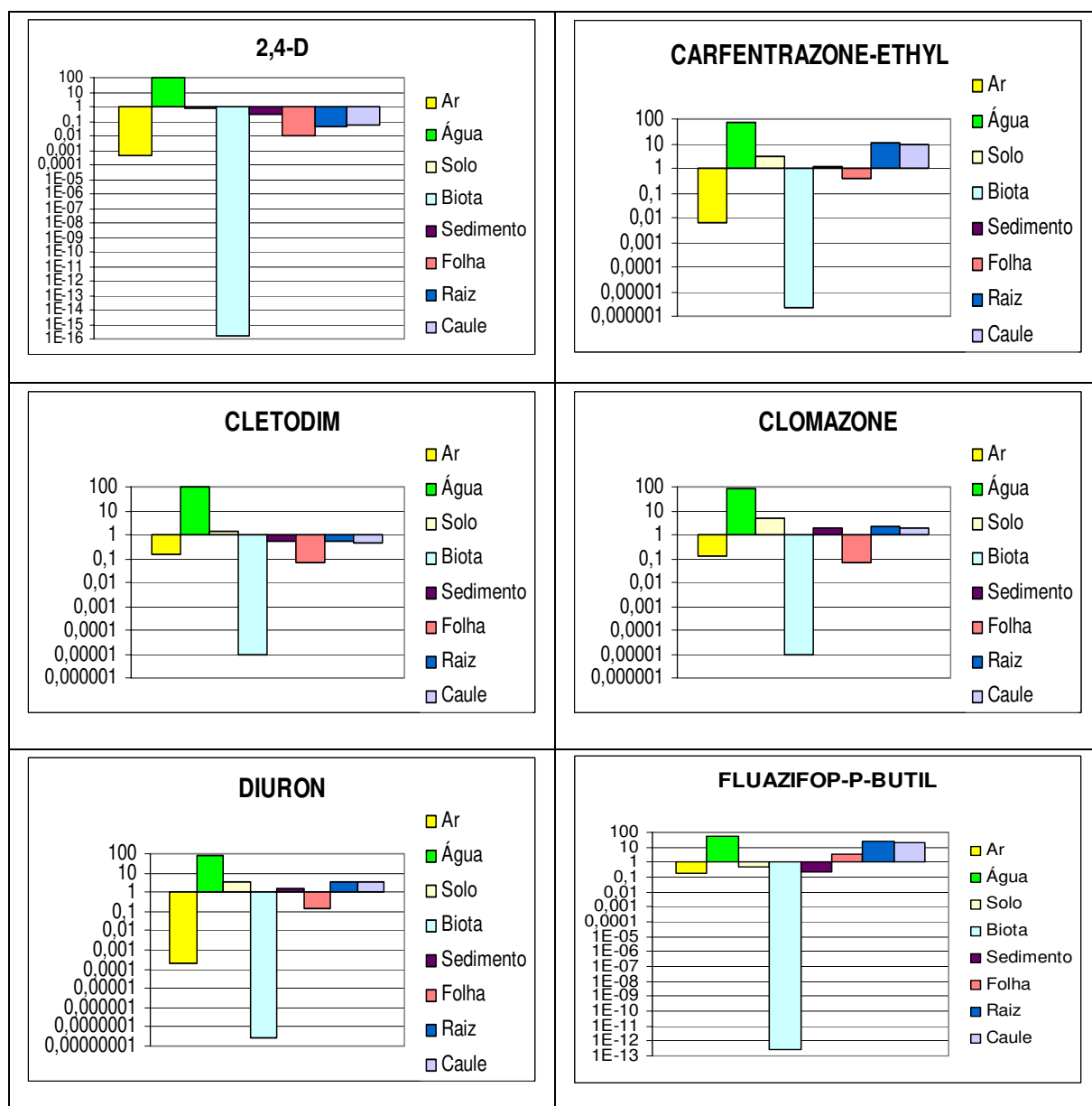


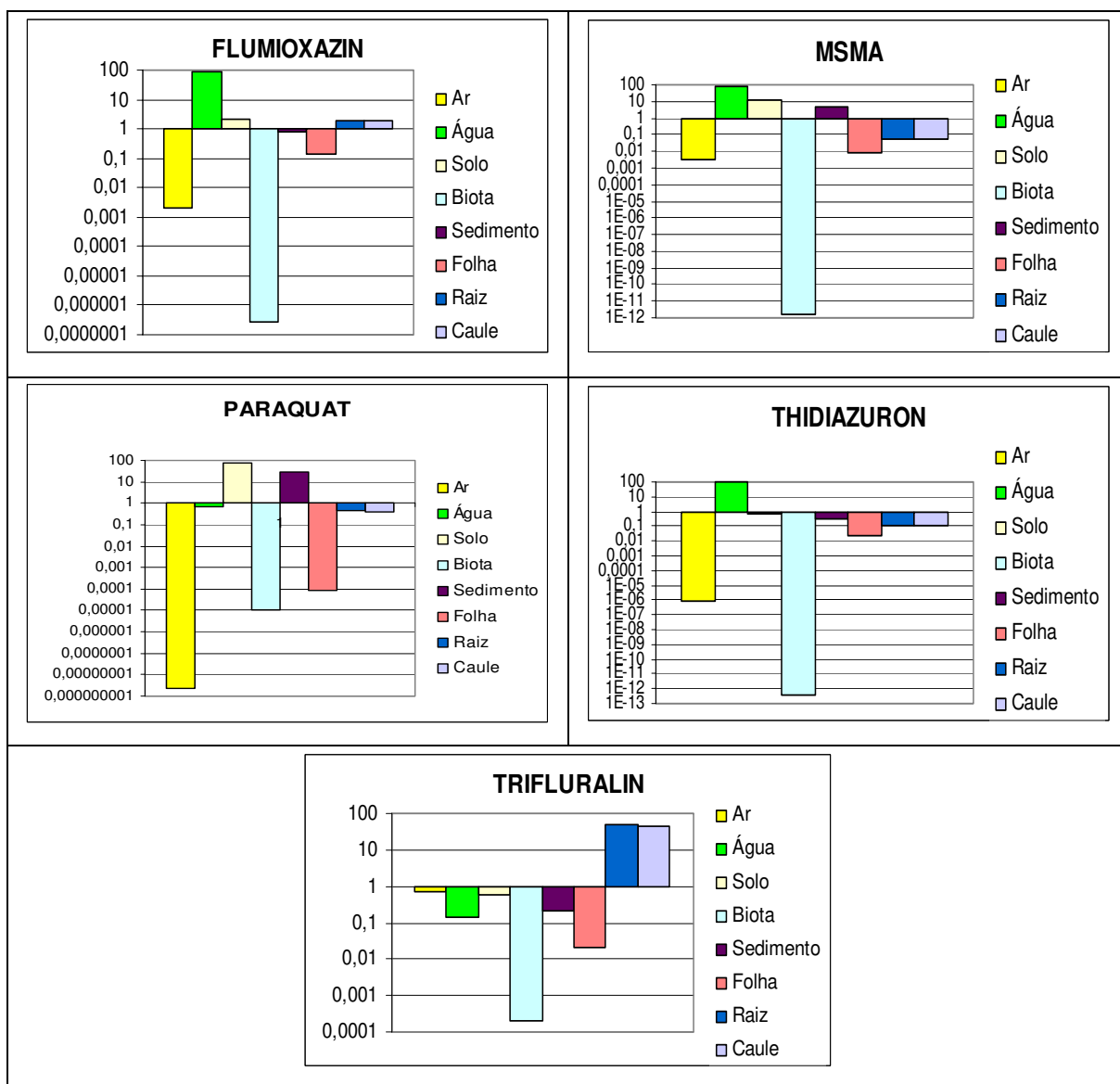


**Figura 17** - Diagramas da distribuição dos inseticidas pelos vários compartimentos ambientais estudados na cultura do algodão após a aplicação do Modelo de Mackay (1991).

### 4.1.3 Herbicidas

Considerando os herbicidas avaliados na figura 18, observou-se que com exceção dos herbicidas trifluralin que apresentou preferência em se distribuir pelos compartimentos caule e raiz, paraquat pelos compartimentos solo e sedimento e fluazifop-p-butil pelos compartimentos água, folha, caule e raiz, todos os demais herbicidas apresentaram preferencialmente em se distribuir pelo compartimento água.

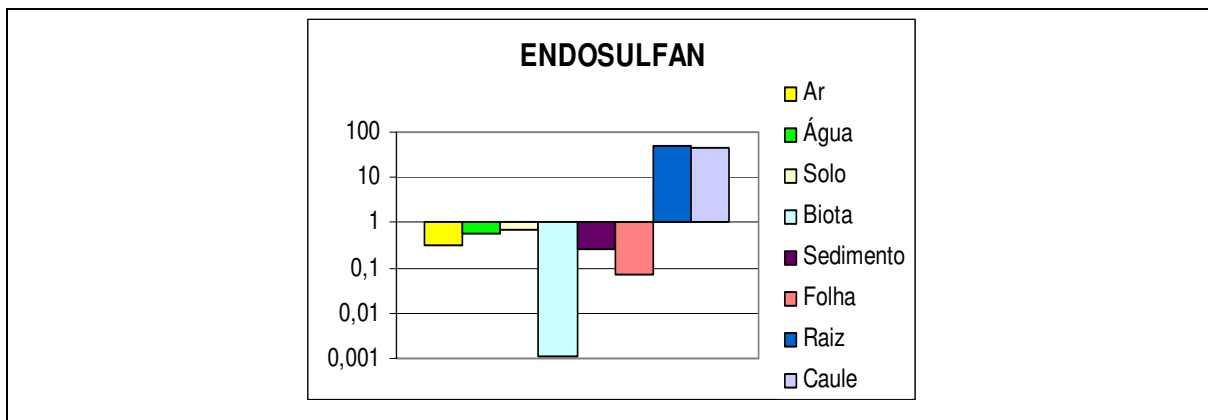




**Figura 18** - Diagramas da distribuição dos herbicidas pelos vários compartimentos ambientais estudados na cultura do algodão após a aplicação do Modelo de Mackay (1991).

#### 4.1.4 Acaricida

Relacionando o inseticida-acaricida endossulfan (figura 19) mostrou ter preferência pelos compartimentos caule e raiz.

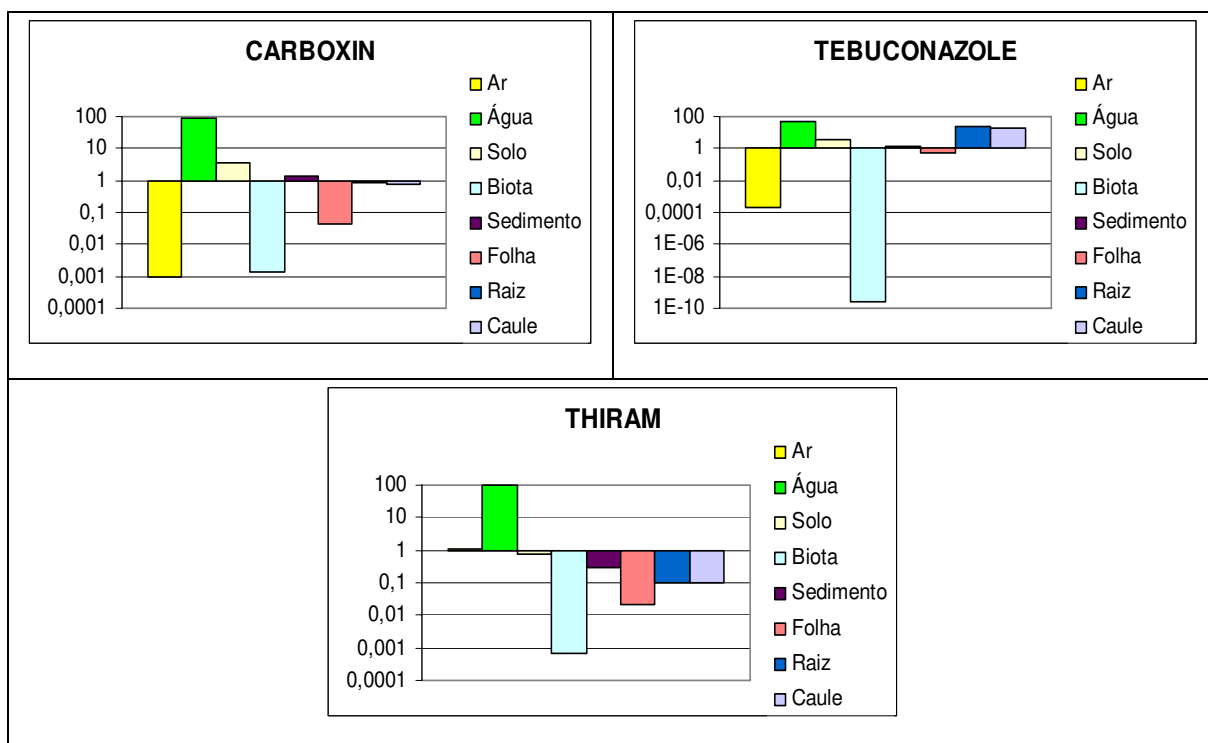


**Figura 19** - Diagramas da distribuição do acaricida pelos vários compartimentos ambientais estudados na cultura do algodão após a aplicação do Modelo de Mackay (1991).

## 4.2 FUGACIDADE DOS PESTICIDAS RECOMENDADOS PARA A CULTURA DO A DO ARROZ

### 4.2.1 Fungicidas

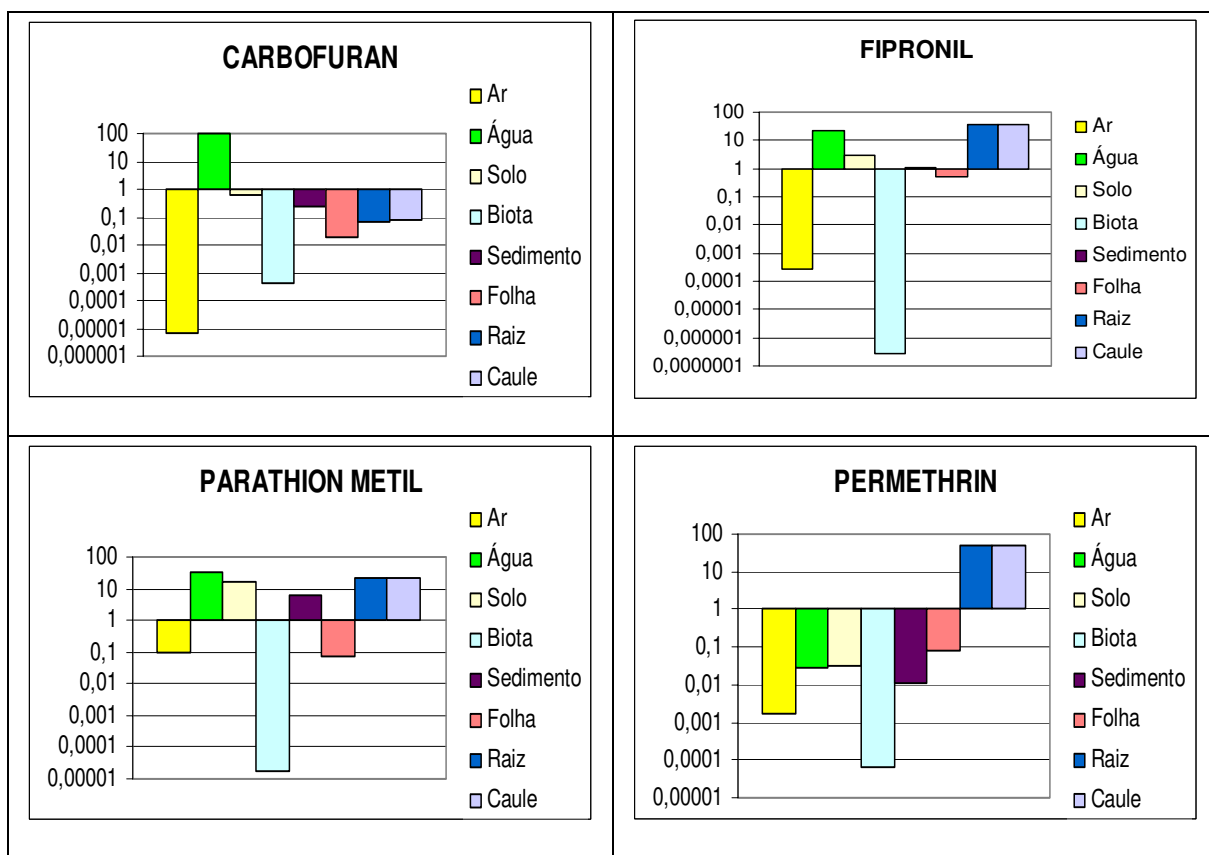
Com relação aos fungicidas avaliados na figura 20, tebuconazole apresentou preferência em distribuir pelos compartimentos água, caule e raiz, os demais evidenciaram afinidade pelo compartimento água.



**Figura 20** - Diagramas da distribuição dos fungicidas pelos vários compartimentos ambientais estudados na cultura do arroz após a aplicação do Modelo de Mackay (1991).

#### 4.2.2 Inseticidas

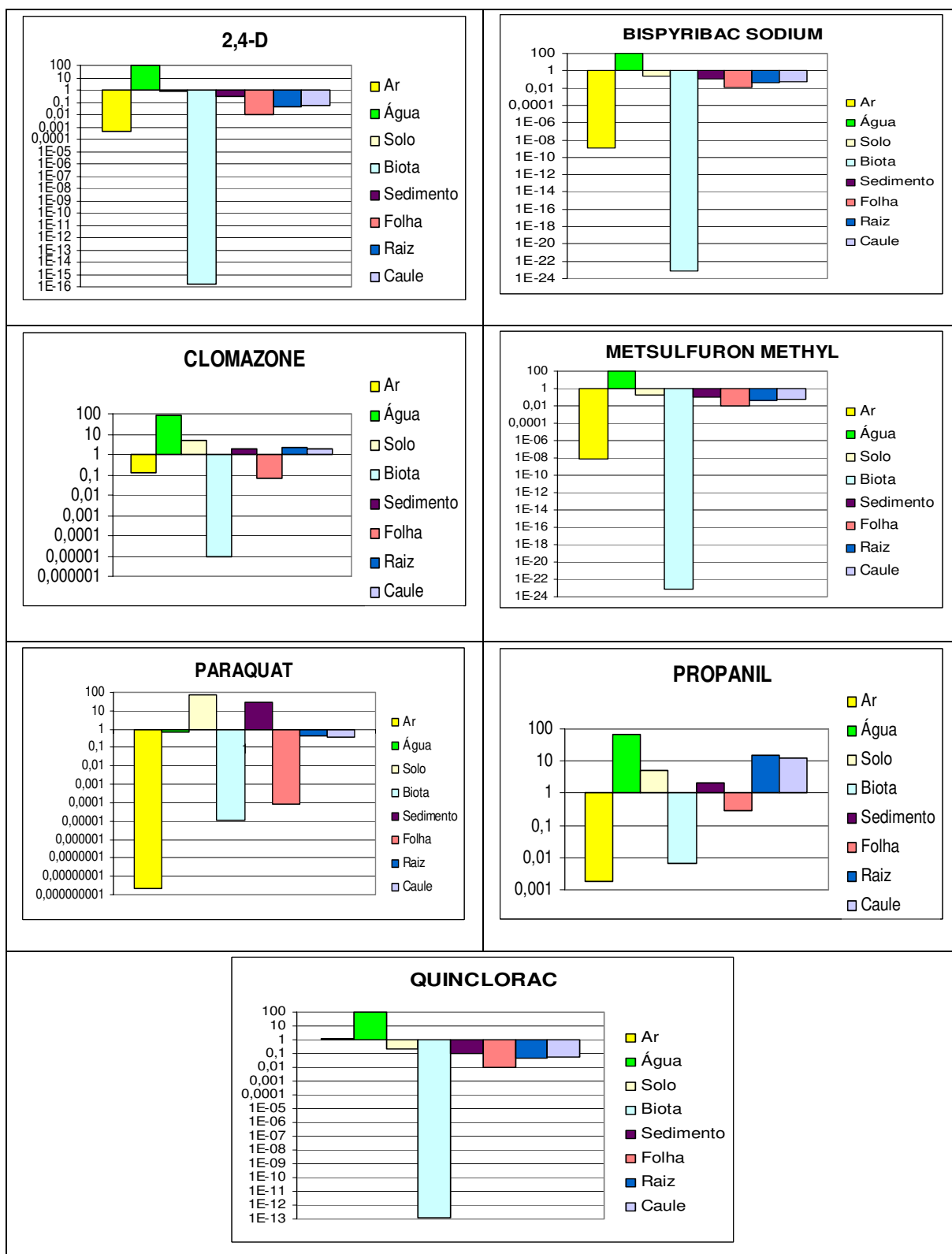
Relacionando os inseticidas avaliados na figura 21, o inseticida permethrin mostrou tendência pelos compartimentos caule e raiz, já carbofuran observa-se tendência somente pelo compartimento água. Os demais inseticidas apresentaram a preferência em se distribuírem pelos compartimentos água, solo, sedimento, caule e raiz.



**Figura 21** - Diagramas da distribuição dos inseticidas pelos vários compartimentos ambientais estudados na cultura do arroz, após a aplicação do Modelo de Mackay (1991).

#### 4.2.3 Herbicidas

Para os herbicidas estudados na figura 22, com exceção do paraquat que se mostrou preferência em se distribuir pelos compartimentos solo e sedimento e propanil pelos compartimentos água, solo, sedimento, caule e raiz os demais herbicidas se mostraram preferir a distribuição pelo compartimento água.

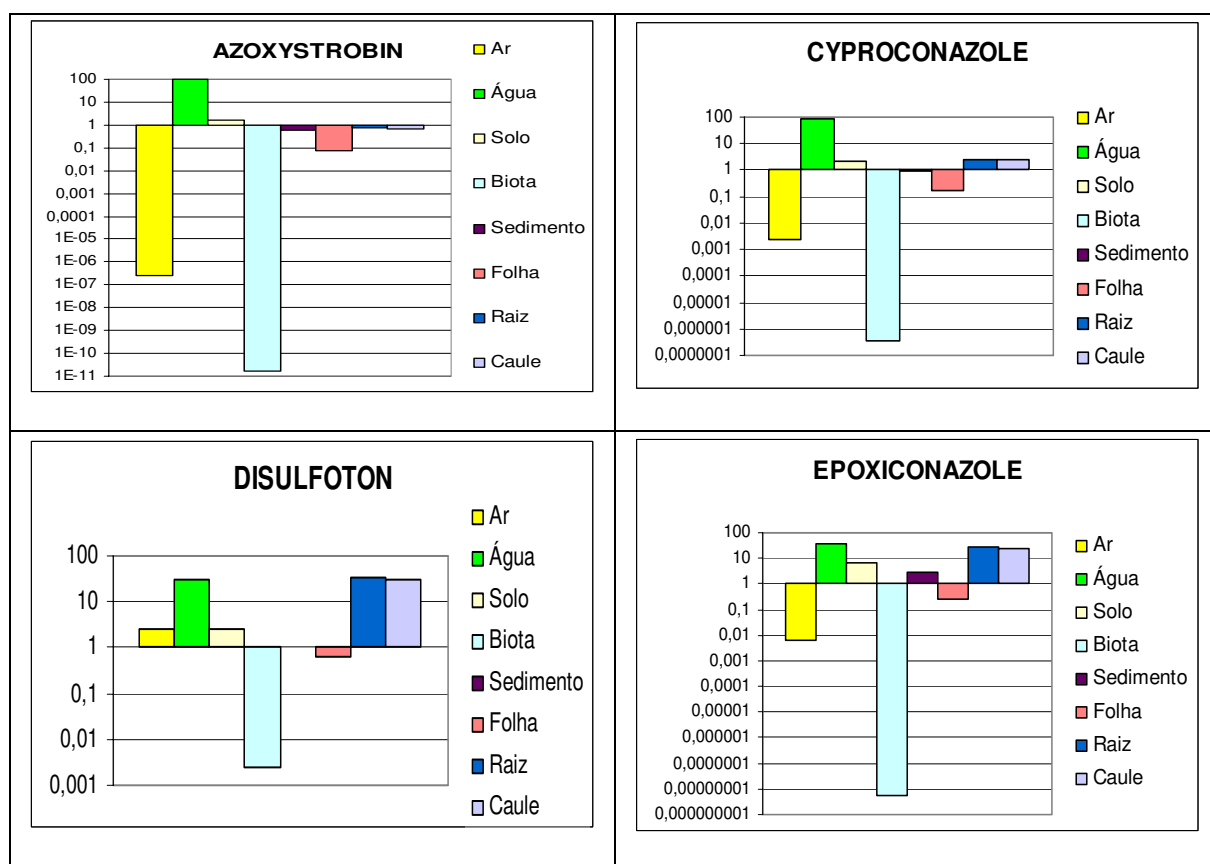


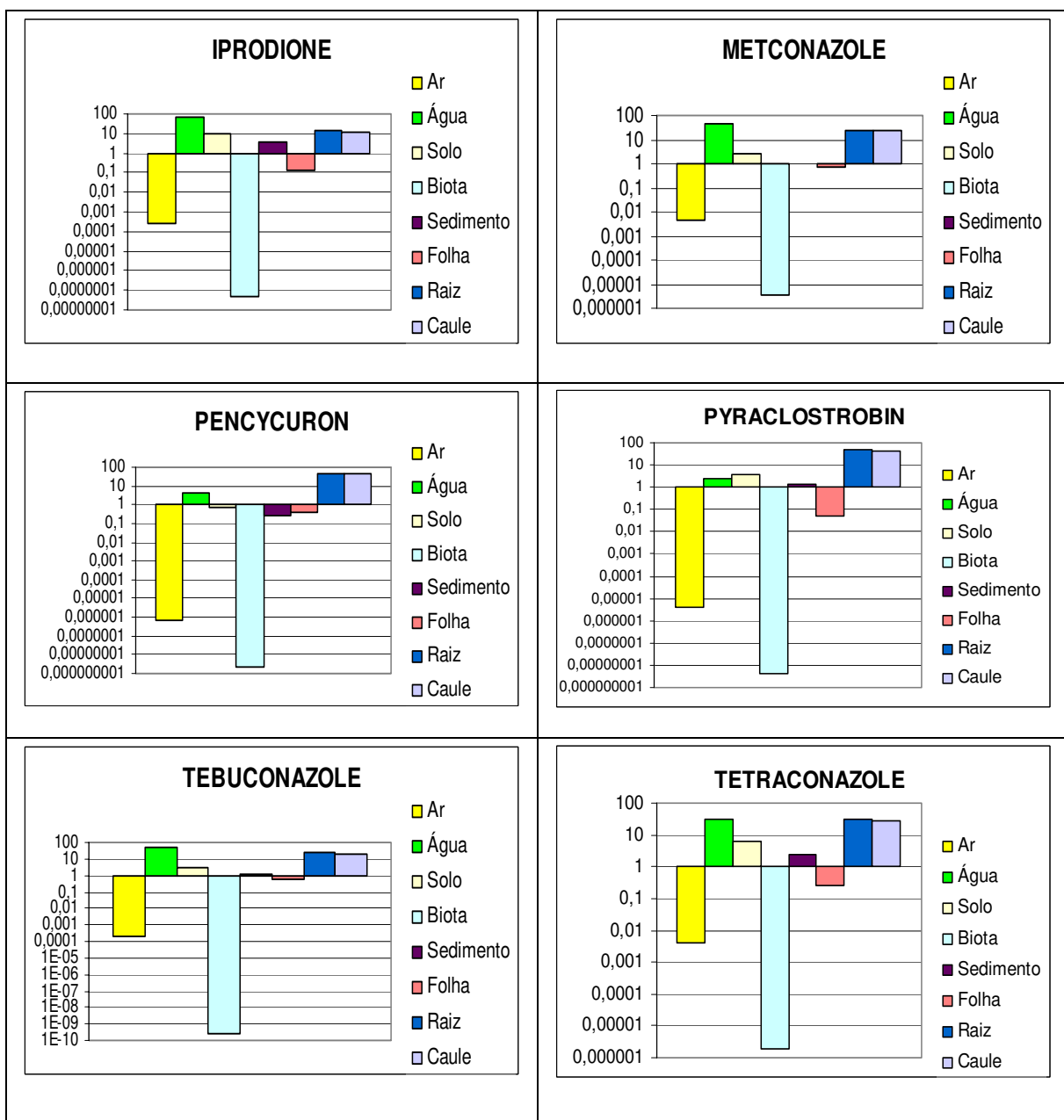
**Figura 22** - Diagramas da distribuição dos herbicidas pelos vários compartimentos ambientais estudados na cultura do arroz, após a aplicação do Modelo de Mackay (1991).

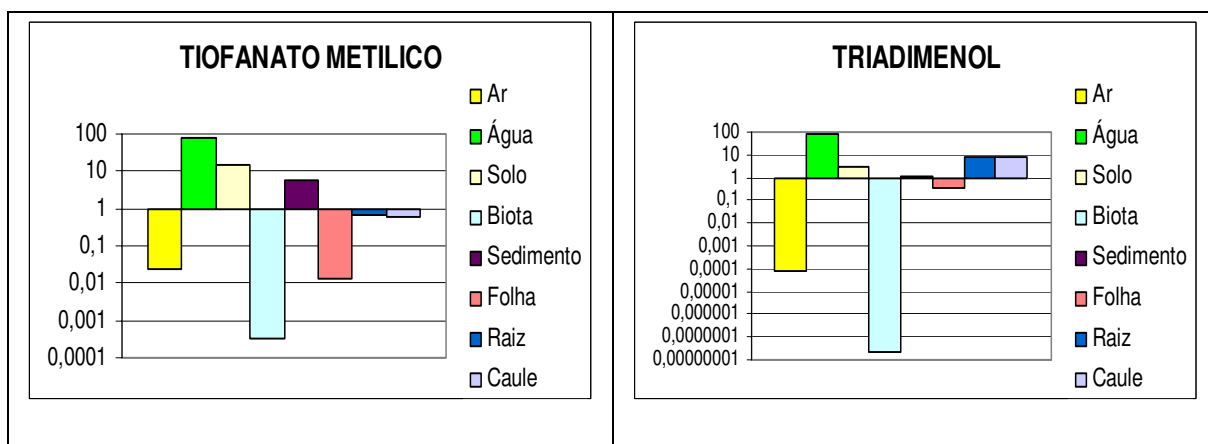
## 4.3 FUGACIDADE DOS PESTICIDAS RECOMENDADOS PARA A CULTURA DO CAFÉ

### 4.3.1 Fungicidas

Com relação aos fungicidas apresentados na figura 23, observou-se que azoxystrobin distribuiu pelos compartimentos água e solo. O produto disulfuton evidenciou-se que distribuiu preferencialmente pelos compartimentos ar, água, solo, caule e raiz. Pencycuron mostrou afinidade pelos compartimentos água, caule e raiz. Os demais fungicidas estudados mostraram preferência em distribuir pelos compartimentos água, solo, sedimento, caule e raiz.



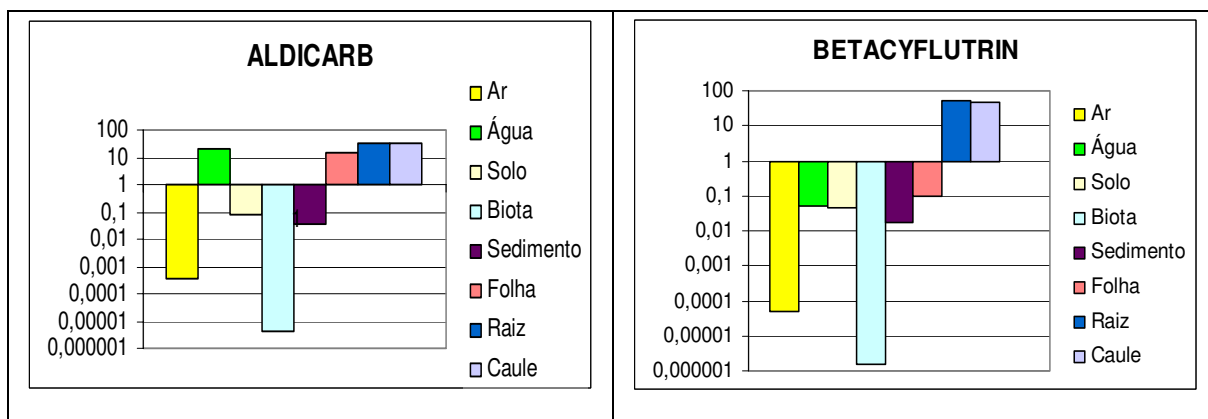


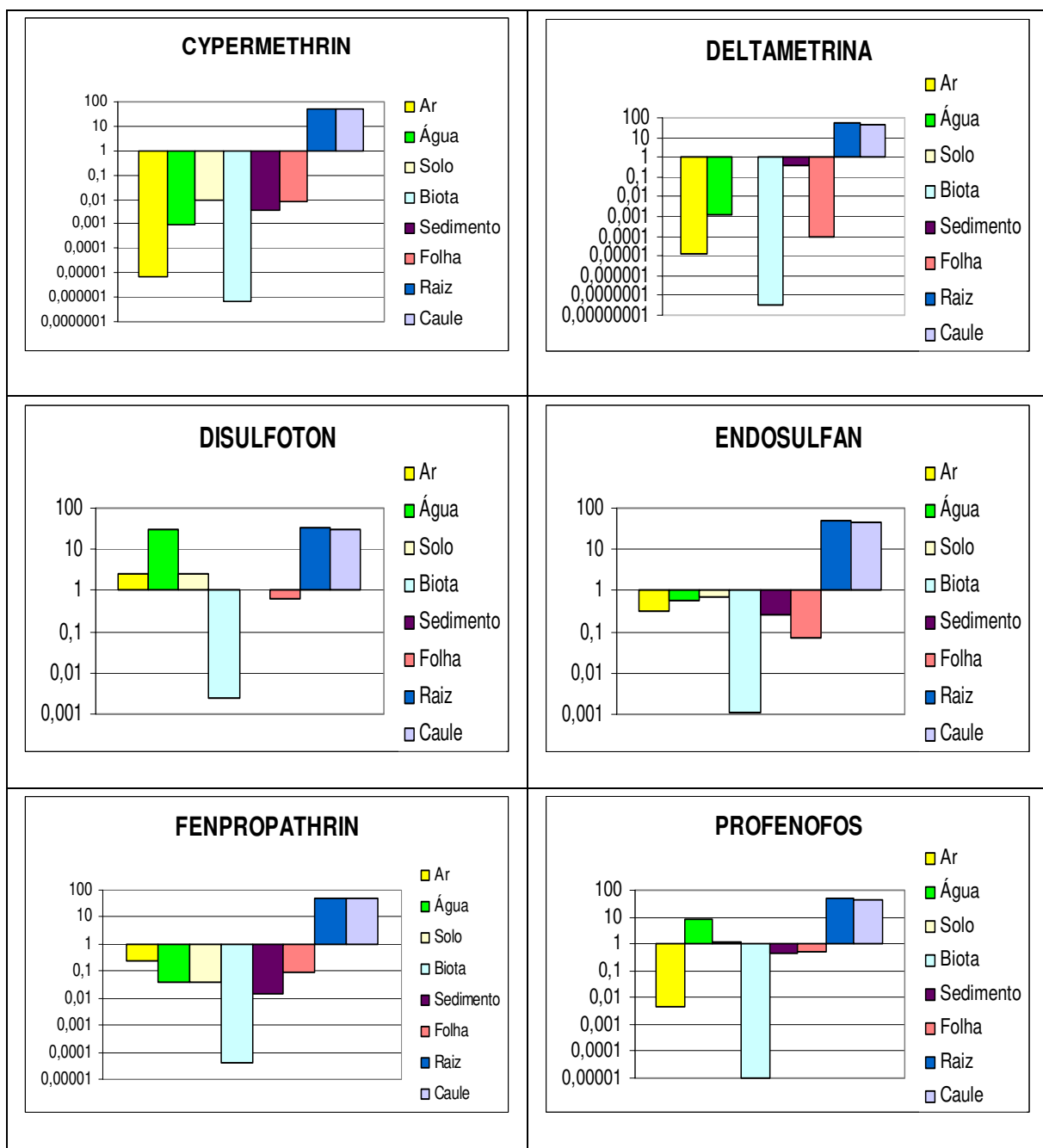


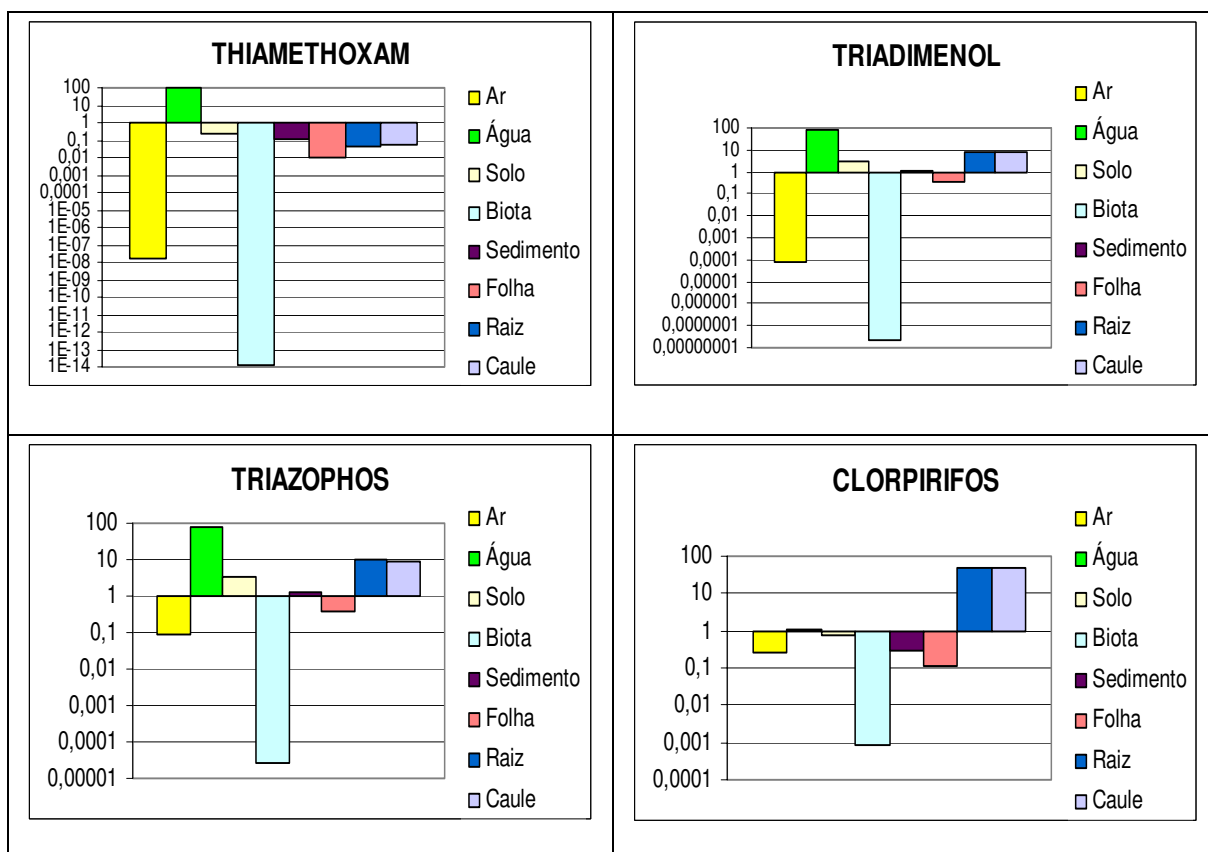
**Figura 23** - Diagramas da distribuição dos fungicidas pelos vários compartimentos ambientais estudados na cultura do café, após a aplicação do Modelo de Mackay (1991).

#### 4.3.2 Inseticidas

Considerando os inseticidas estudados na figura 24, aldicarb verificou-se afinidade com os compartimentos água, folha, caule e raiz. Disulfuton, profenofós, triadimenol e triazophos mostraram tendência em concentrar nos compartimentos água, caule e raiz. Os demais inseticidas avaliados notaram-se que possuem afinidade em concentrar nos compartimentos caule e raiz.



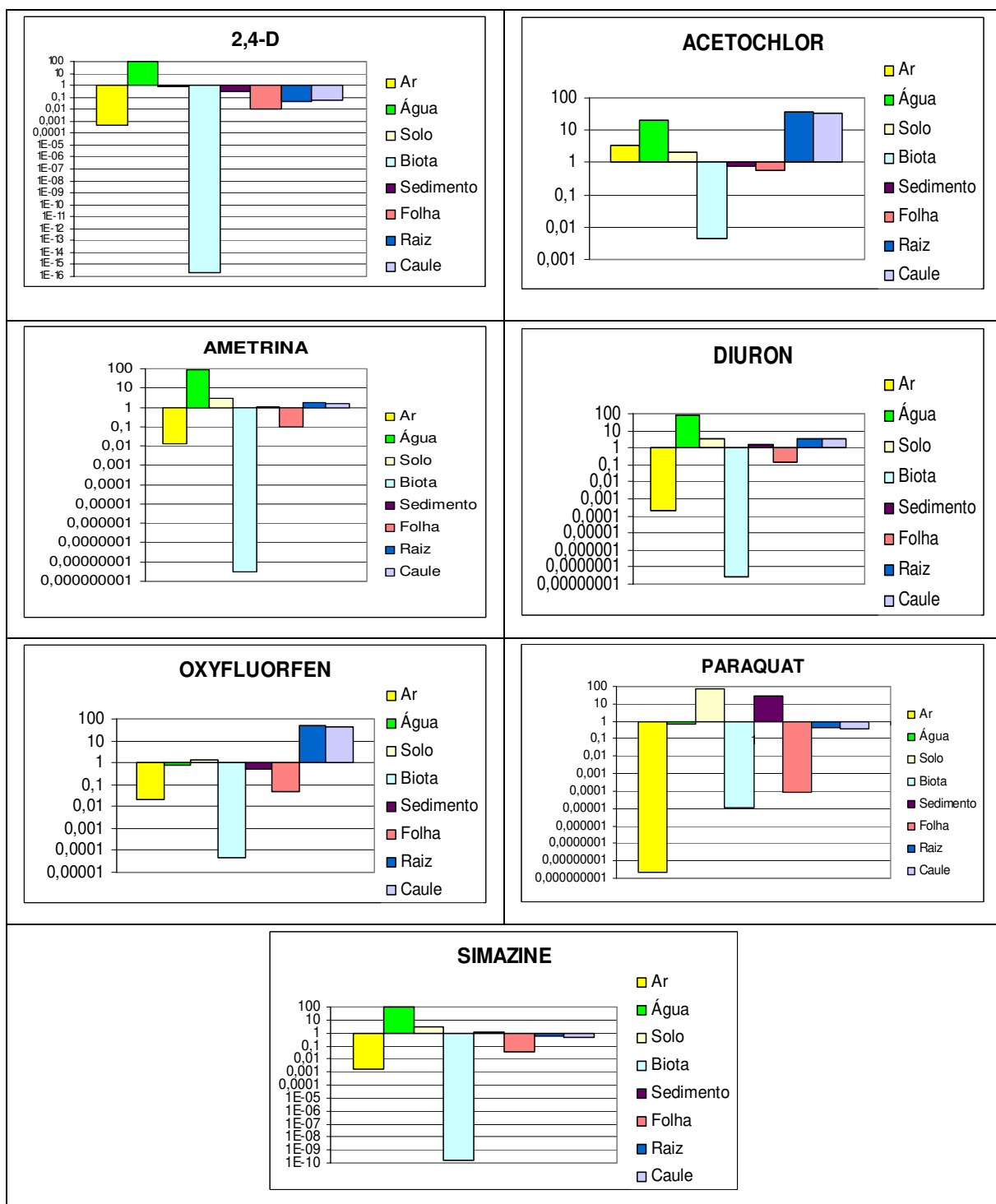




**Figura 24** - Diagramas da distribuição dos inseticidas pelos vários compartimentos ambientais estudados na cultura do café, após a aplicação do Modelo de Mackay (1991).

#### 4.3.3 Herbicidas

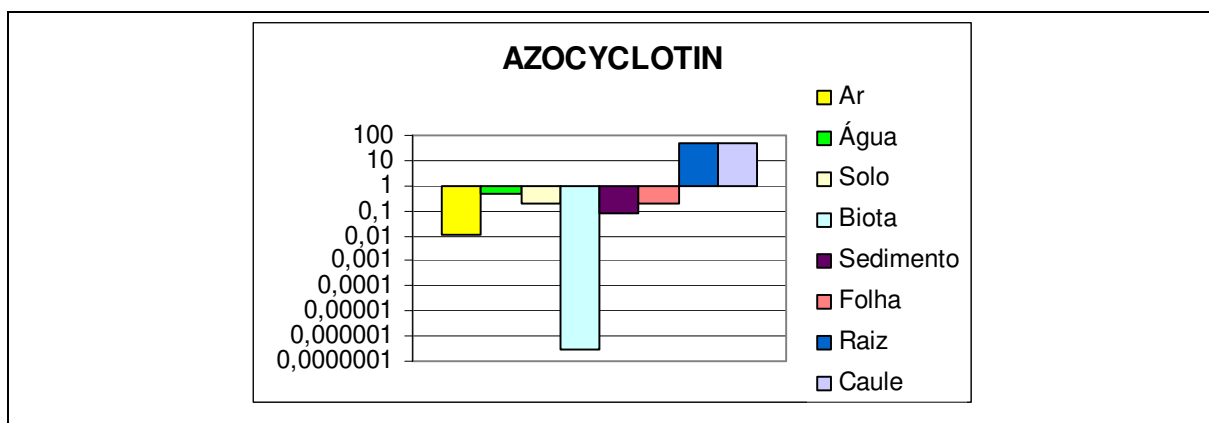
Relacionando os herbicidas do café da figura 25, o produto paraquat mostrou preferência em concentrar pelos compartimentos solo e sedimento, acetochlor pelo ar, água, solo caule e raiz, o produto oxyfluorfen pelos compartimentos caule e raiz e os demais herbicidas pela água.



**Figura 25** - Diagramas da distribuição dos herbicidas pelos vários compartimentos ambientais estudados na cultura do café após a aplicação do Modelo de Mackay (1991).

#### 4.3.4 Acaricidas

Para o acaricida estudado mostrado na figura 26, o produto azocyclotin indicou escolher os compartimentos caule e raiz para distribuir.

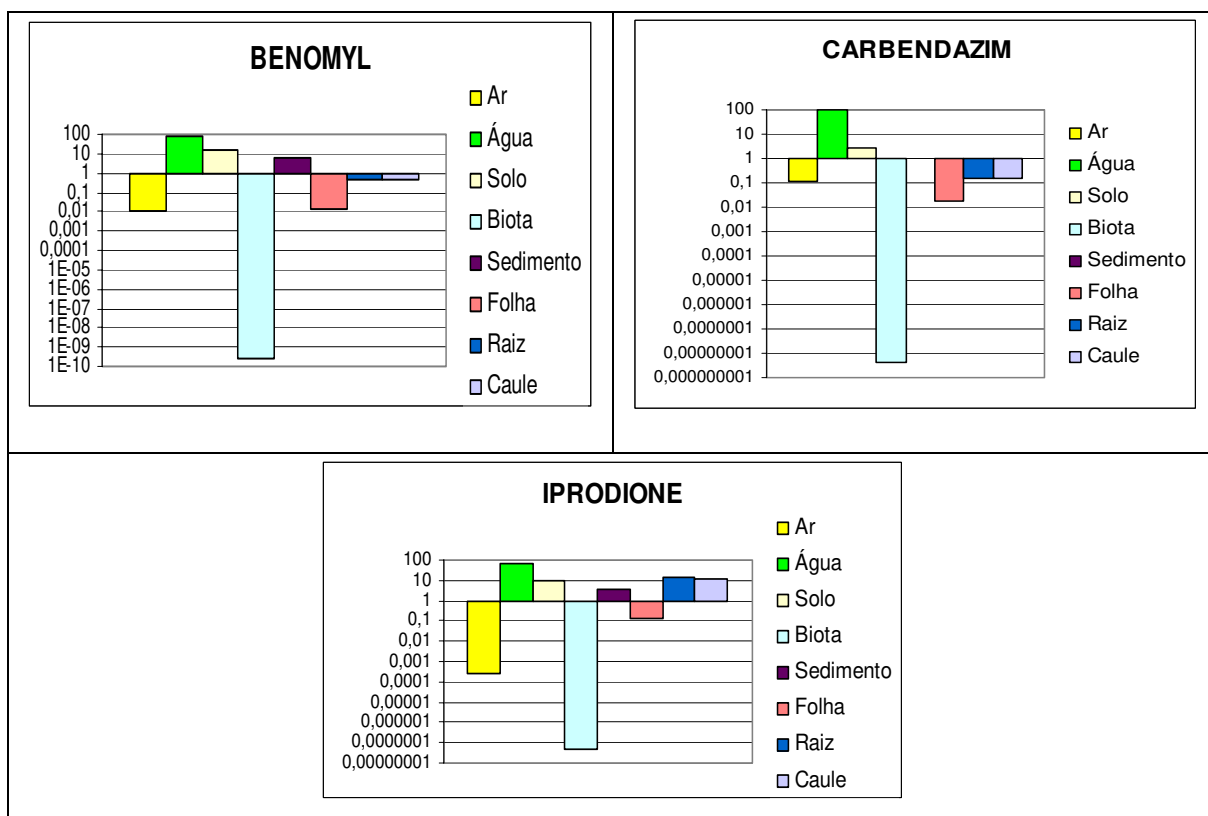


**Figura 26** - Diagramas da distribuição do acaricida pelos vários compartimentos ambientais estudados na cultura do café, após a aplicação do Modelo de Mackay (1991).

### 4.4. FUGACIDADE DOS PESTICIDAS RECOMENDADOS PARA A CULTURA DA CANA-DE AÇÚCAR

#### 4.4.1 Fungicidas

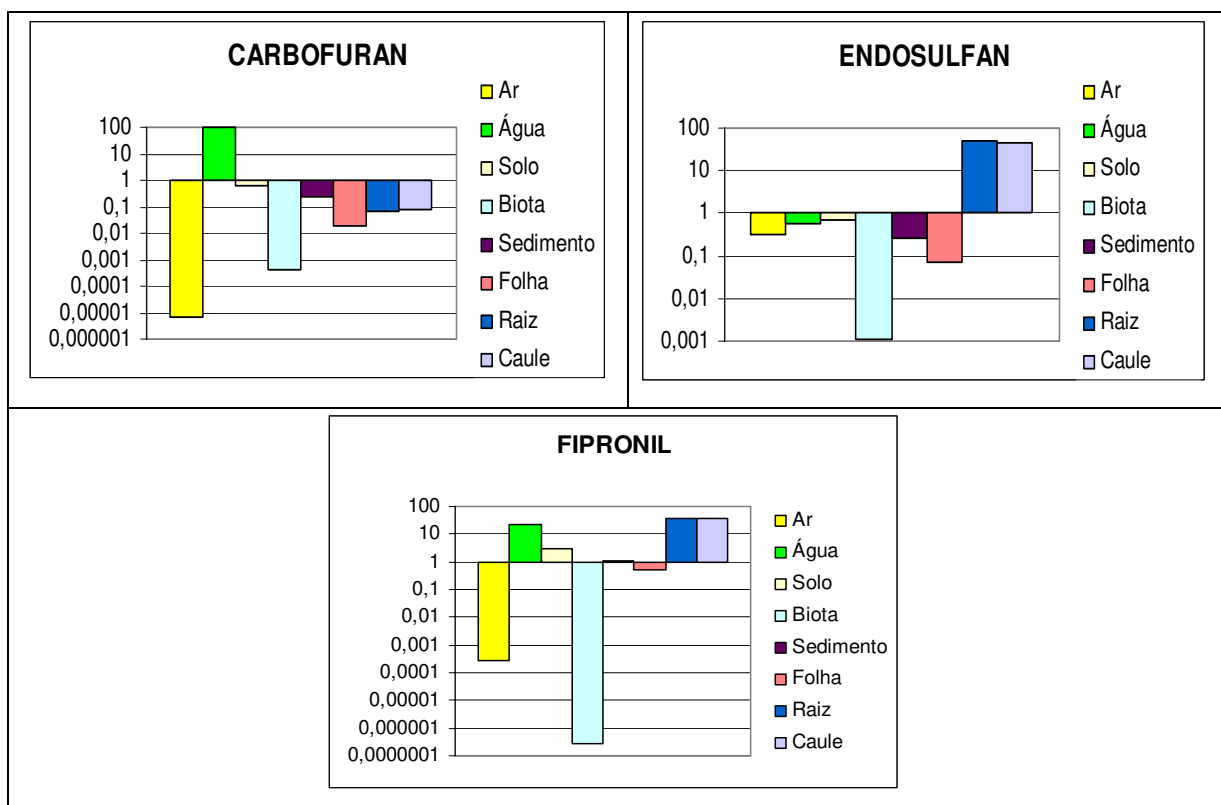
Com relação aos fungicidas da cana-de-açúcar indicados na figura 27, carbendazim apontou predileção em distribuir pelos compartimentos água e solo, benomyl pelos compartimentos água, solo e sedimento e o produto iprodione apresentou preferência pelos compartimentos água, solo, sedimento, caule e raiz.



**Figura 27** - Diagramas da distribuição dos fungicidas pelos vários compartimentos ambientais estudados na cultura da cana-de-açúcar, após a aplicação do Modelo de Mackay (1991).

#### 4.4.2 Inseticidas

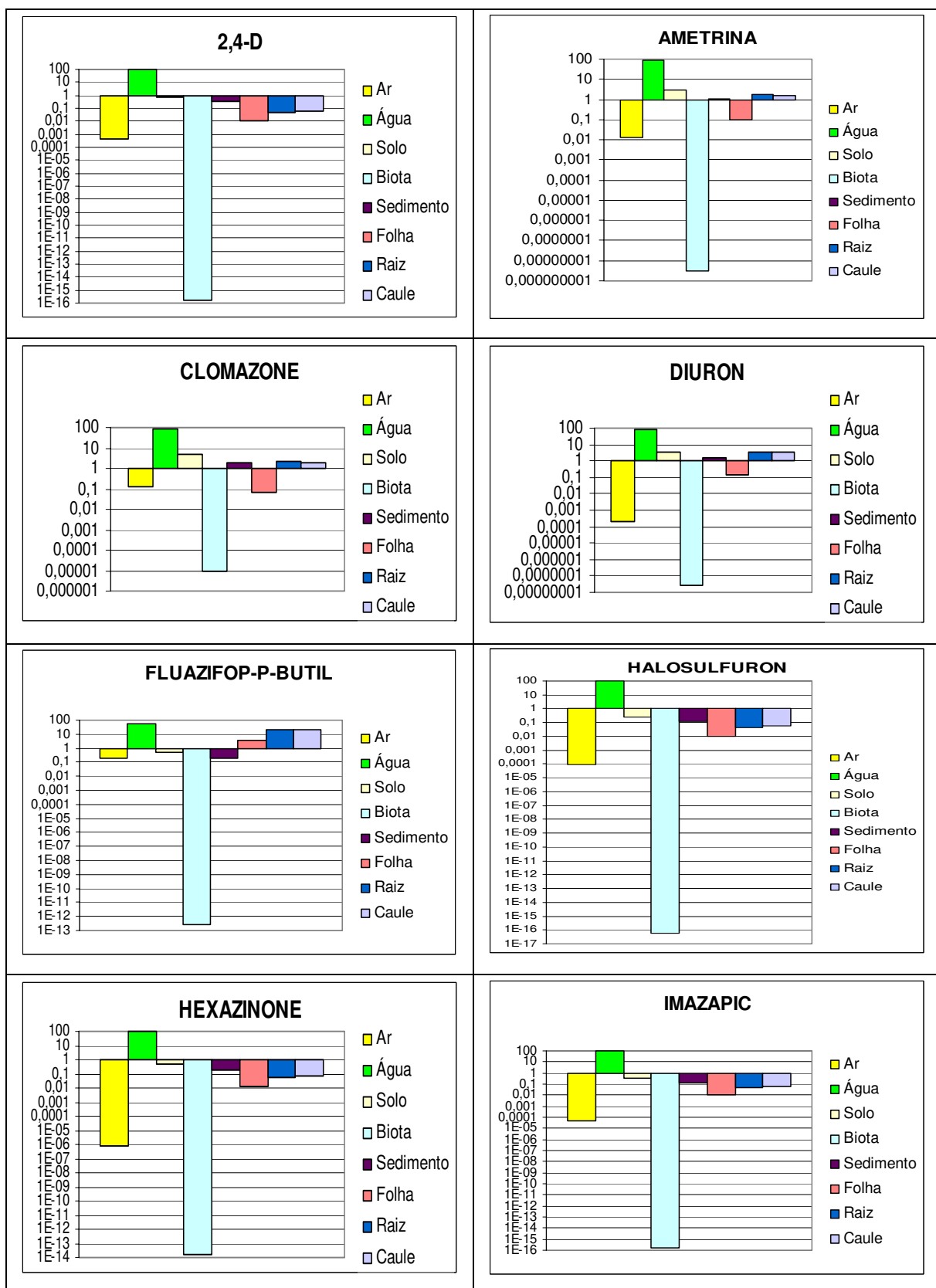
Considerando os inseticidas da cana-de-açúcar exibidos na figura 28, carbofuran manifestou preferência pelo compartimento água, endosulfan pelos compartimentos caule e raiz e o fipronil indicou preferência pelos compartimentos água, solo caule e raiz.

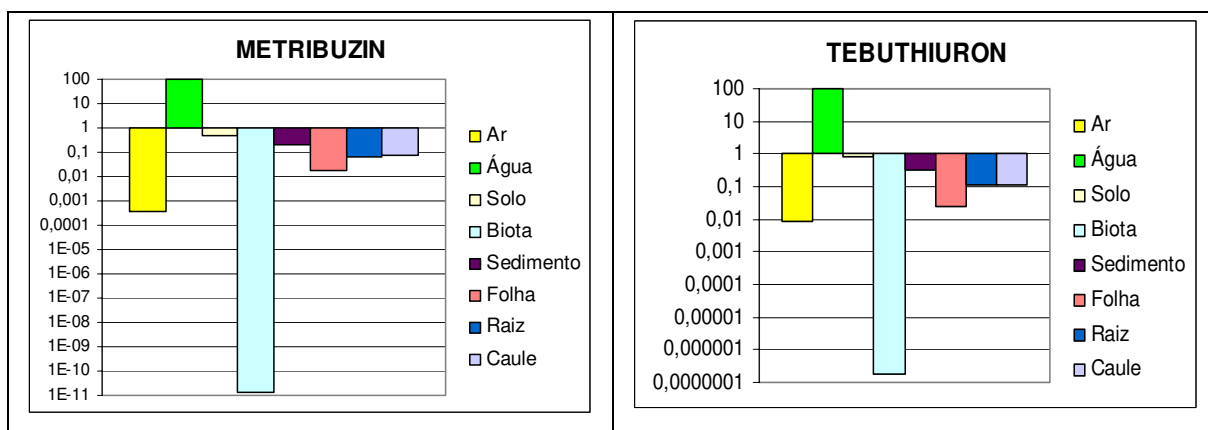


**Figura 28** - Diagramas da distribuição dos inseticidas pelos vários compartimentos ambientais estudados na cultura da cana-de-açúcar, após a aplicação do Modelo de Mackay (1991).

### 5.4.3 Herbicidas

Para os herbicidas apresentados na figura 29, com exceção do fluazipop-p-butil que apontou tendência em concentrar nos compartimentos água, caule e raiz, todos os demais herbicidas apresentaram afinidade em distribuir no compartimento água.



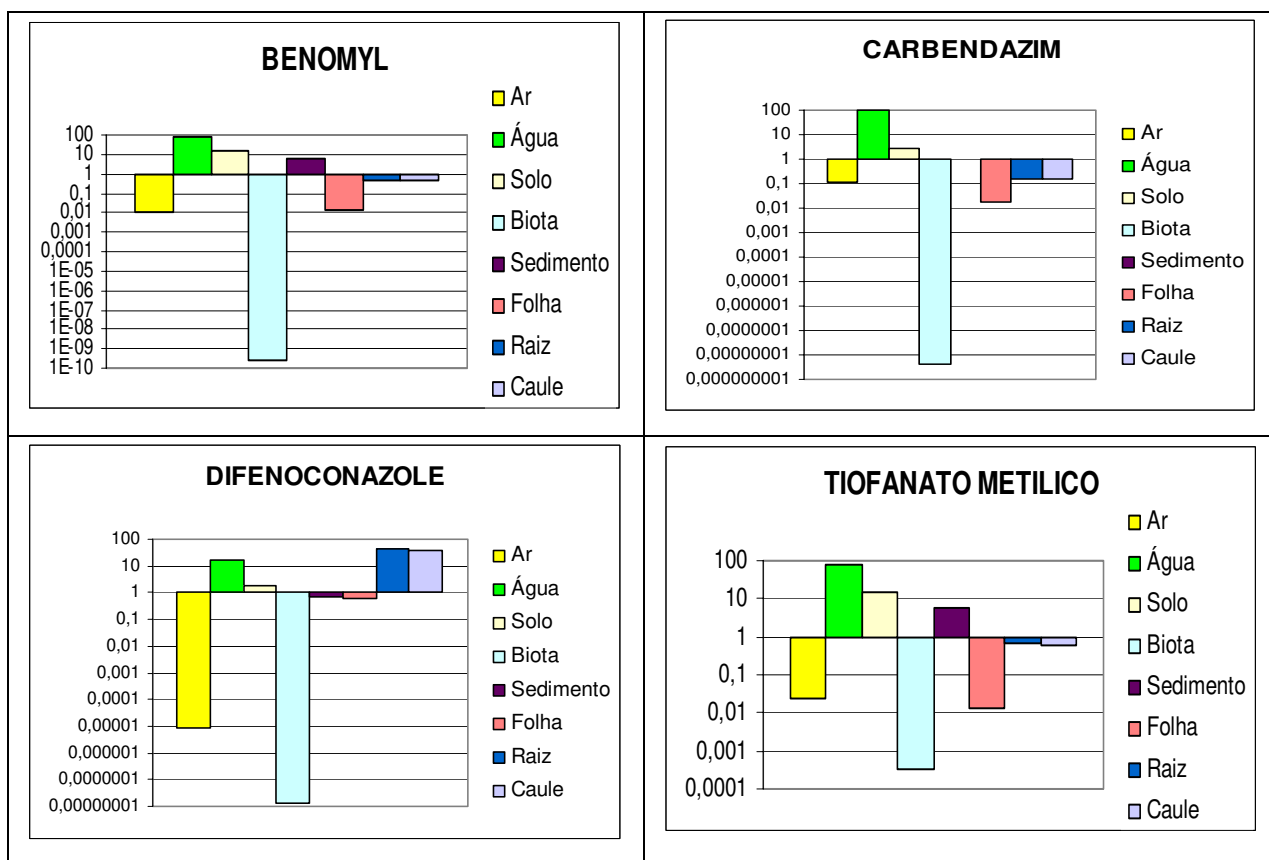


**Figura 29** - Diagramas da distribuição dos herbicidas pelos vários compartimentos ambientais estudados na cultura da cana-de-açúcar, após a aplicação do Modelo de Mackay (1991).

## 4.5 FUGACIDADE DOS PESTICIDAS RECOMENDADOS PARA A CULTURA DO CITROS

### 4.5.1 Fungicidas

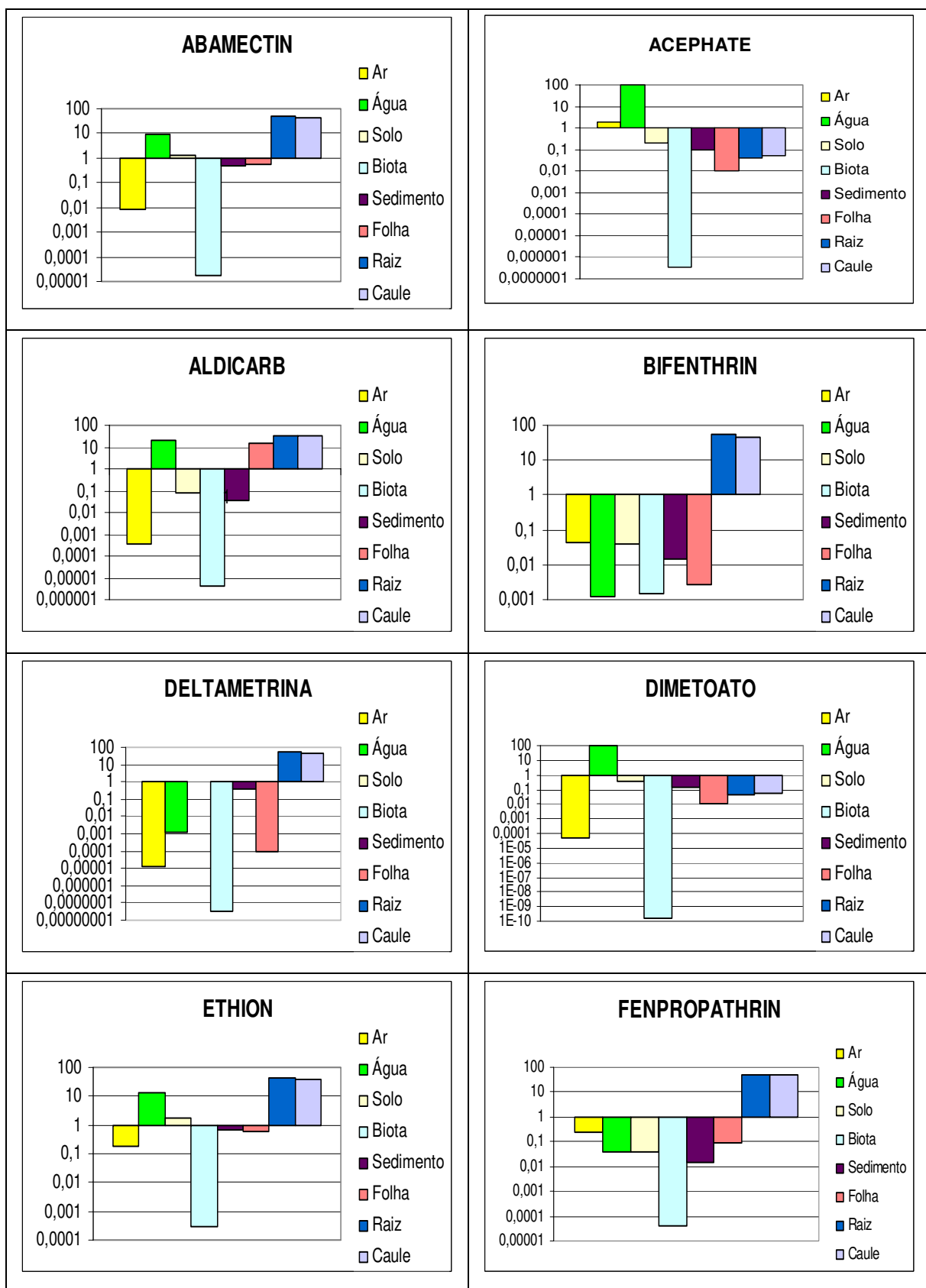
Dos fungicidas, exibidos na figura 30, benomyl e tiofanato metílico mostraram predileção pelo compartimento água, solo e sedimento, já o produto carbendazin tendenciou em concentrar nos compartimentos água e solo e difenoconazole mostrou distribuir pelos compartimentos água, caule e raiz.

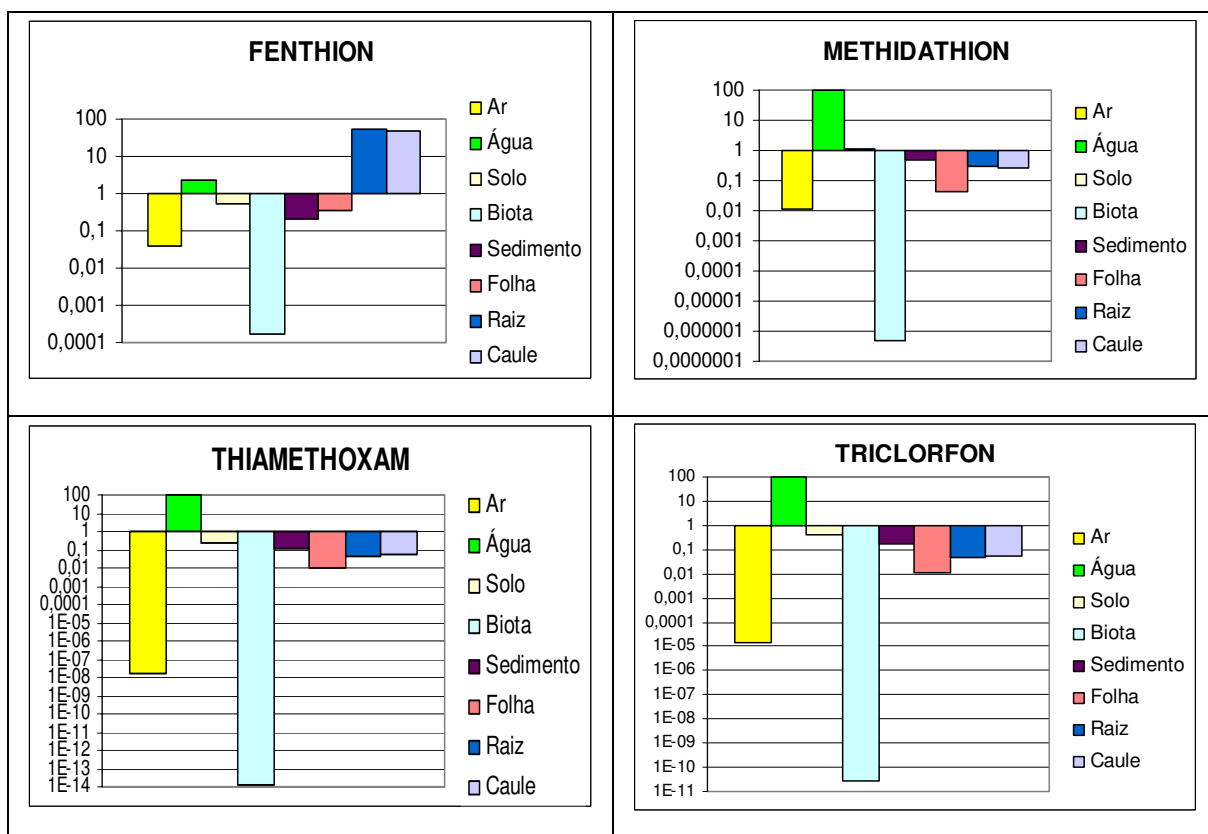


**Figura 30** - Diagramas da distribuição dos fungicidas pelos vários compartimentos ambientais estudados na cultura do citros, após a aplicação do Modelo de Mackay (1991).

#### 4.5.2 Inseticidas

Dos inseticidas mostrados na figura 31, abamectin, fenthion e ethion indicaram escolher para concentrar os compartimentos água, caule e planta. Aldicarb mostrou preferir os compartimentos água, folha, caule e raiz. Os produtos bifenthrin, deltametrina, e fempopathrin exibiram preferência pelos compartimentos caule e raiz. Os demais inseticidas manifestaram preferir o compartimento água.

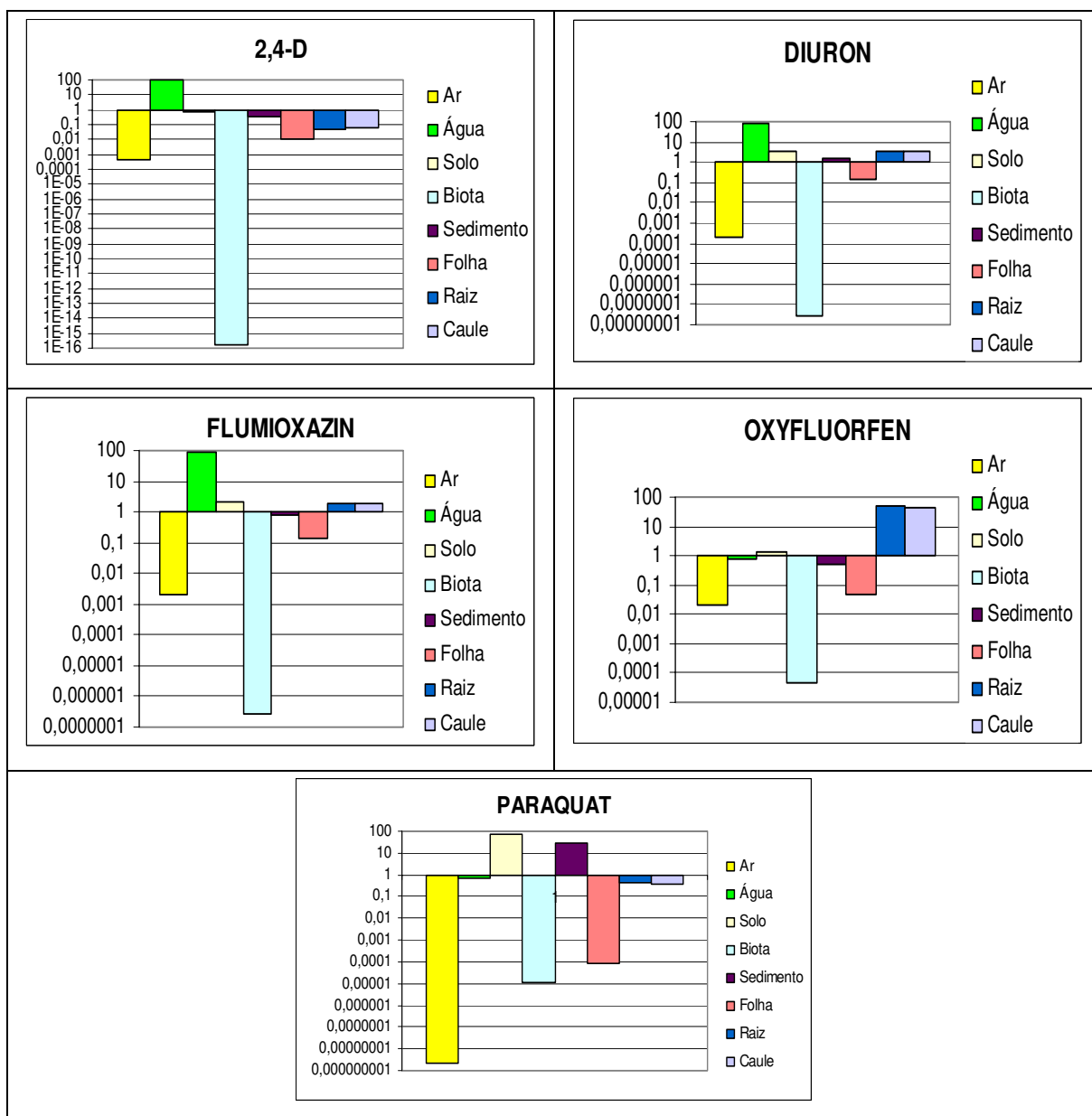




**Figura 31** - Diagramas da distribuição dos inseticidas pelos vários compartimentos ambientais estudados na cultura do citros, após a aplicação do Modelo de Mackay (1991).

#### 4.5.3 Herbicidas

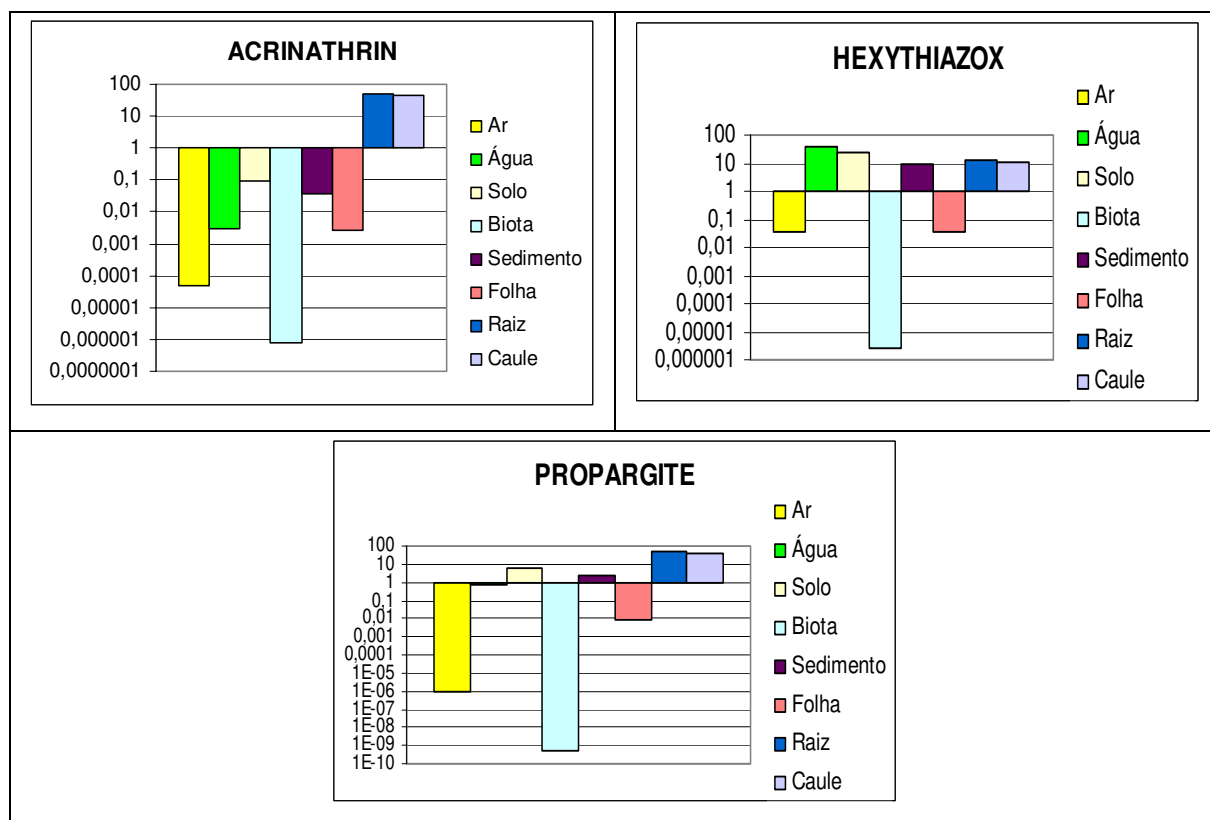
Analisando os herbicidas apontados na figura 32, paraquat indicou ser preferenciável pelos compartimentos solo e sedimento, oxyfluorfen manifestou concentrar nos compartimentos caule e raiz. Os demais herbicidas apontaram concentrar no compartimento água.



**Figura 32** - Diagramas da distribuição dos herbicidas pelos vários compartimentos ambientais estudados na cultura do citros, após a aplicação do Modelo de Mackay (1991).

#### 4.5.4 Acaricidas

Considerando os acaricidas expostos na figura 33, excetuando hexythiazox que mostrou preferência em distribuir nos compartimentos água, solo, sedimento, caule e raiz os demais acaricidas mostraram concentrar somente nos compartimentos caule e raiz.



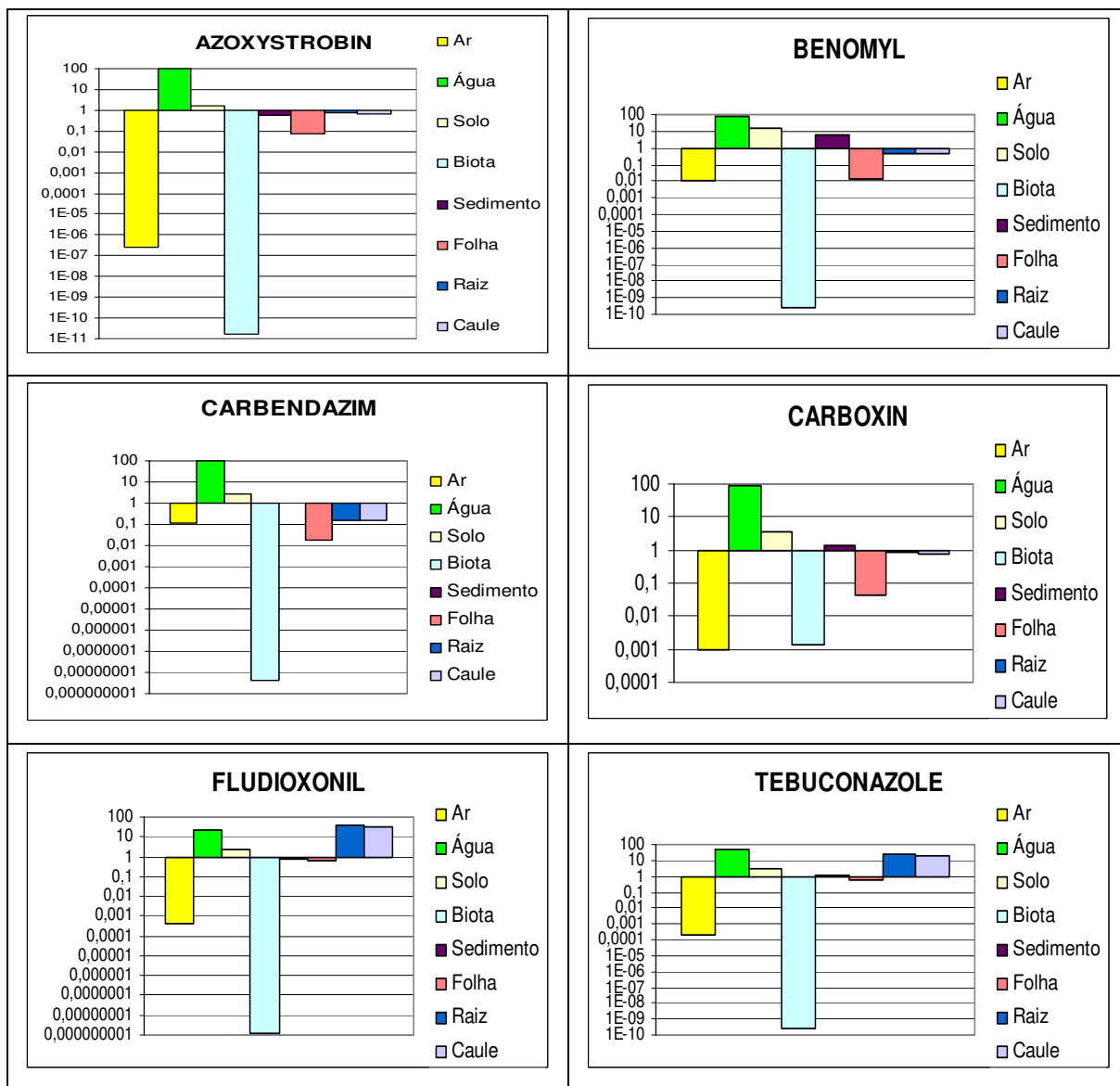
**Figura 33** - Diagramas da distribuição dos acaricidas pelos vários compartimentos ambientais estudados na cultura do citros, após a aplicação do Modelo de Mackay (1991).

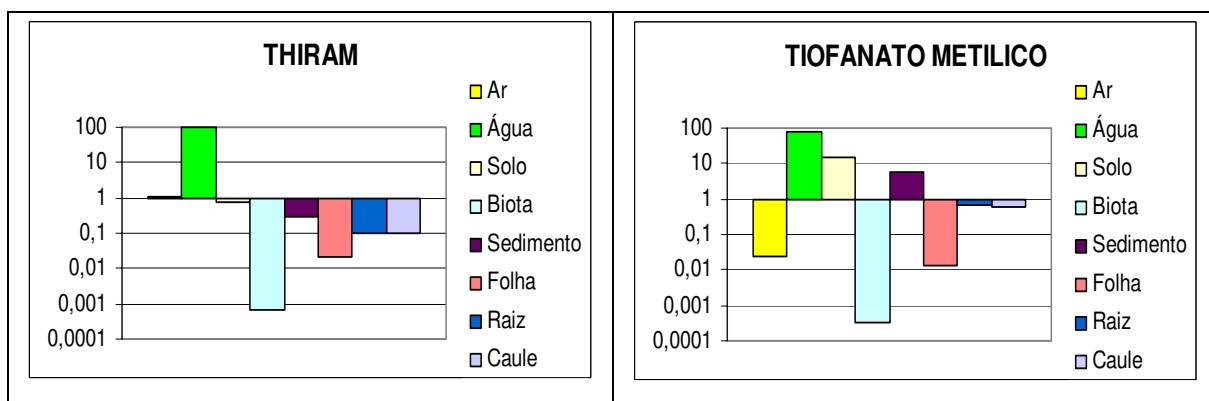
#### 4.6 FUGACIDADE DOS PESTICIDAS RECOMENDADOS PARA A CULTURA DO MILHO

##### 4.6.1 Fungicidas

Dos fungicidas indicados na figura 34, os produtos tiofanato metílico e benomyl mostraram preferir concentrar nos compartimentos água, solo e sedimento. Fludioxonil e

tebuconazole apresentaram afinidade em concentrar nos compartimentos água, solo, caule e raiz e os outros fungicidas avaliados preferiram concentrar no compartimento água.

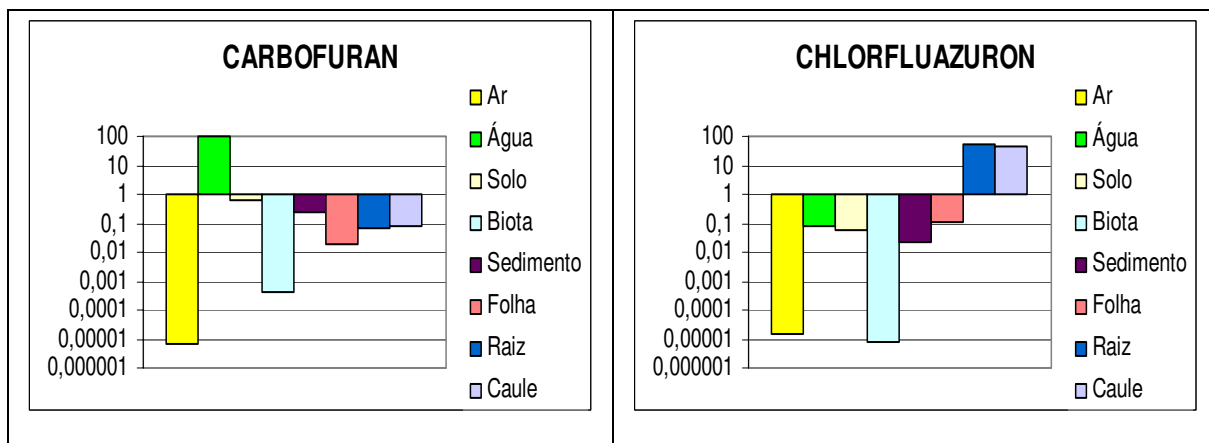


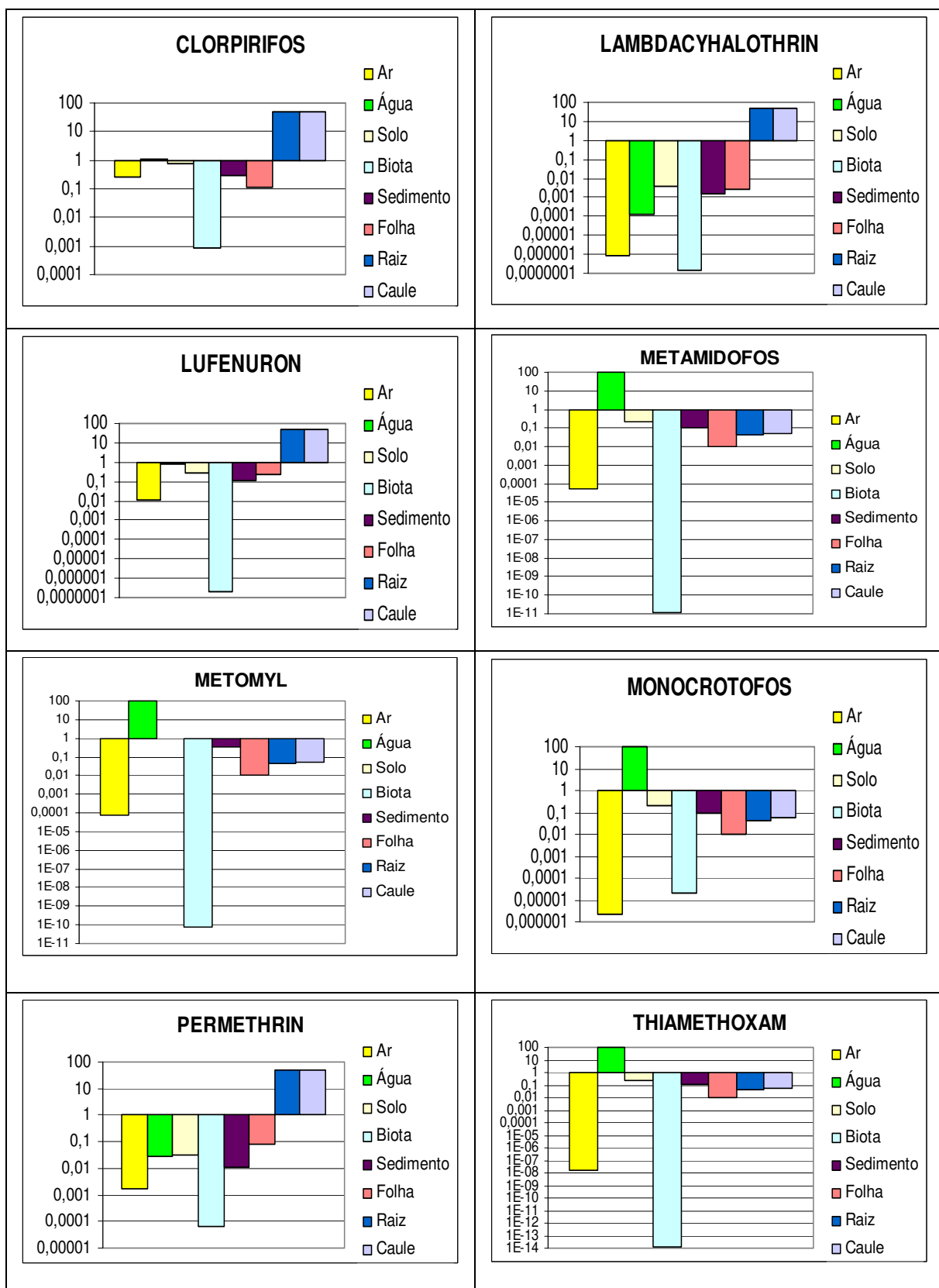


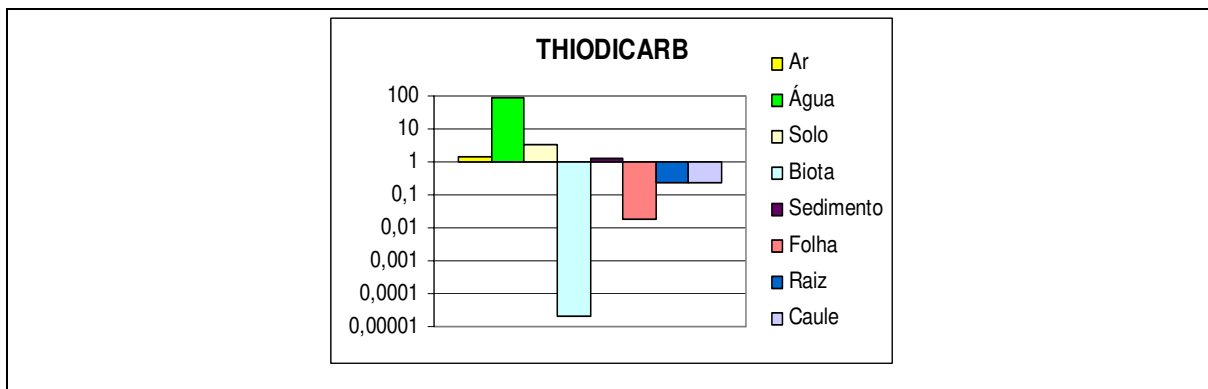
**Figura 34** - Diagramas da distribuição dos fungicidas pelos vários compartimentos ambientais estudados na cultura do milho, após a aplicação do Modelo de Mackay (1991).

#### 4.6.2 Inseticidas

Em análise aos inseticidas exibidos na figura 35, os produtos chlorfluazuron, clorpirifós, lambdacyhalotrin, lufenuron, e permethrin indicaram escolher para distribuir o compartimento água. O produto thiodicarb apresentou concentrar preferencialmente pelos compartimentos água, solo, sedimento e ar. Já os demais inseticidas avaliados todos mostraram concentrar no compartimento água.



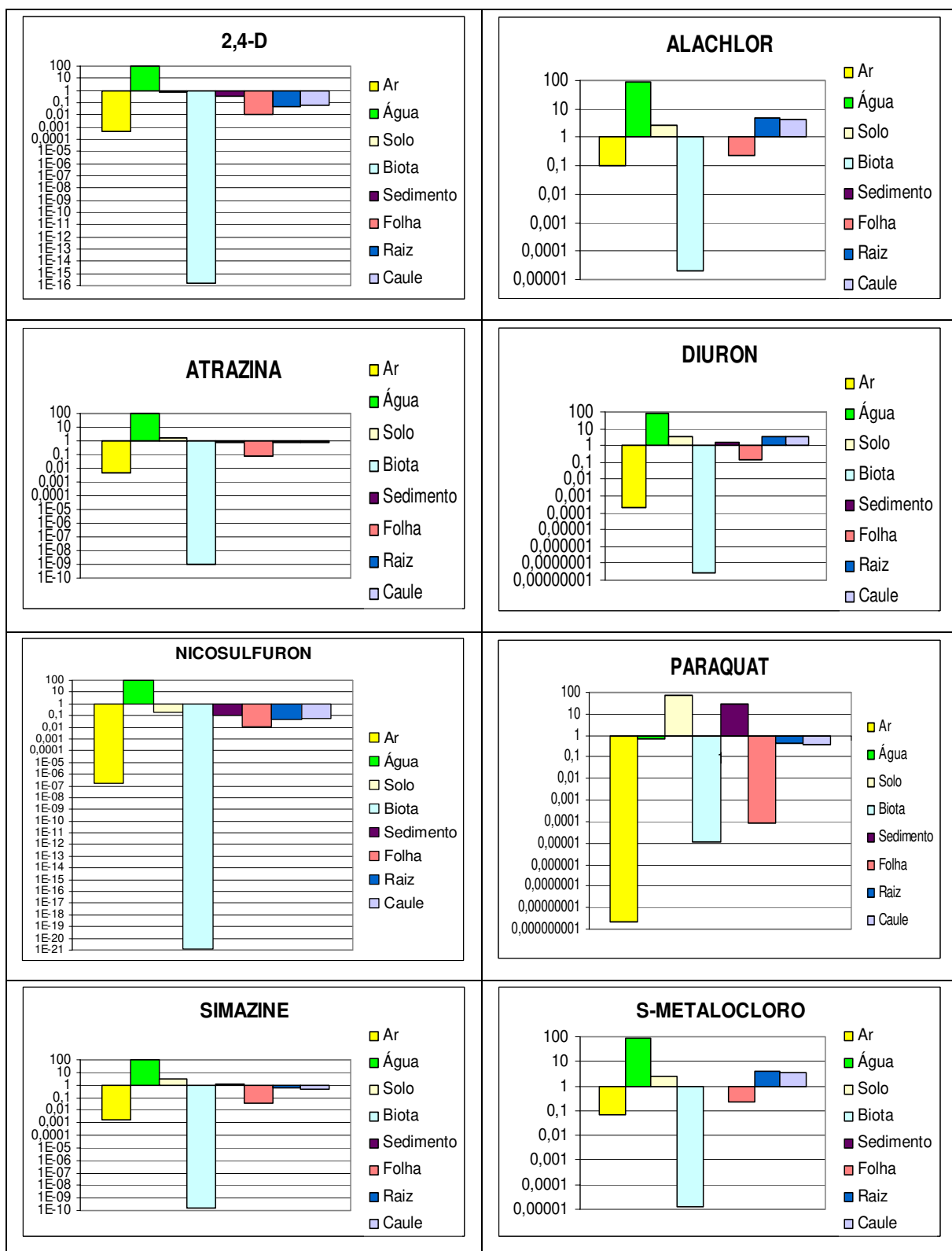




**Figura 35** - Diagramas da distribuição dos inseticidas pelos vários compartimentos ambientais estudados na cultura do milho, após a aplicação do Modelo de Mackay (1991).

#### 4.6.3 Herbicidas

Para os herbicidas apontados na figura 36, paraquat mostrou preferência pelos compartimentos solo e sedimento. Os herbicidas s-metalocloro, diuron, e alachlor apresentaram afinidade em concentrar pelos compartimentos água, solo, caule e raiz. Os outros produtos estudados mostraram concentrar no compartimento água.

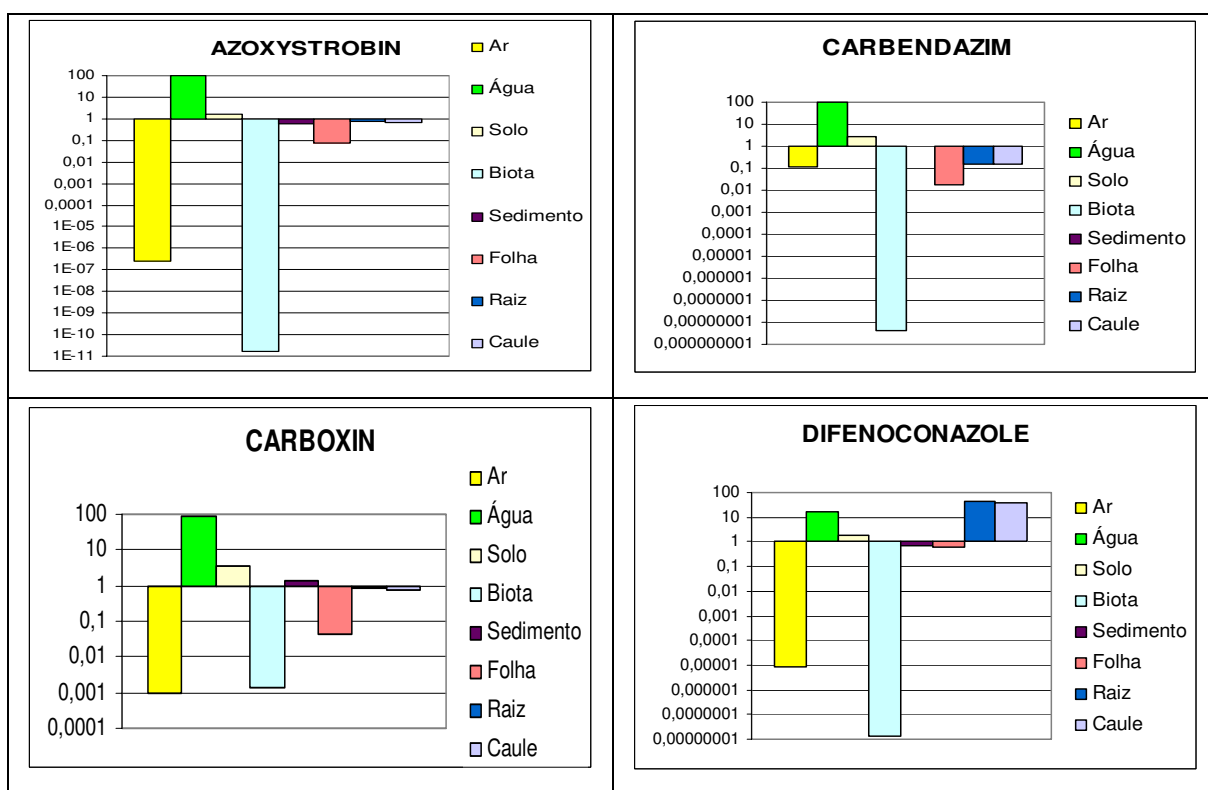


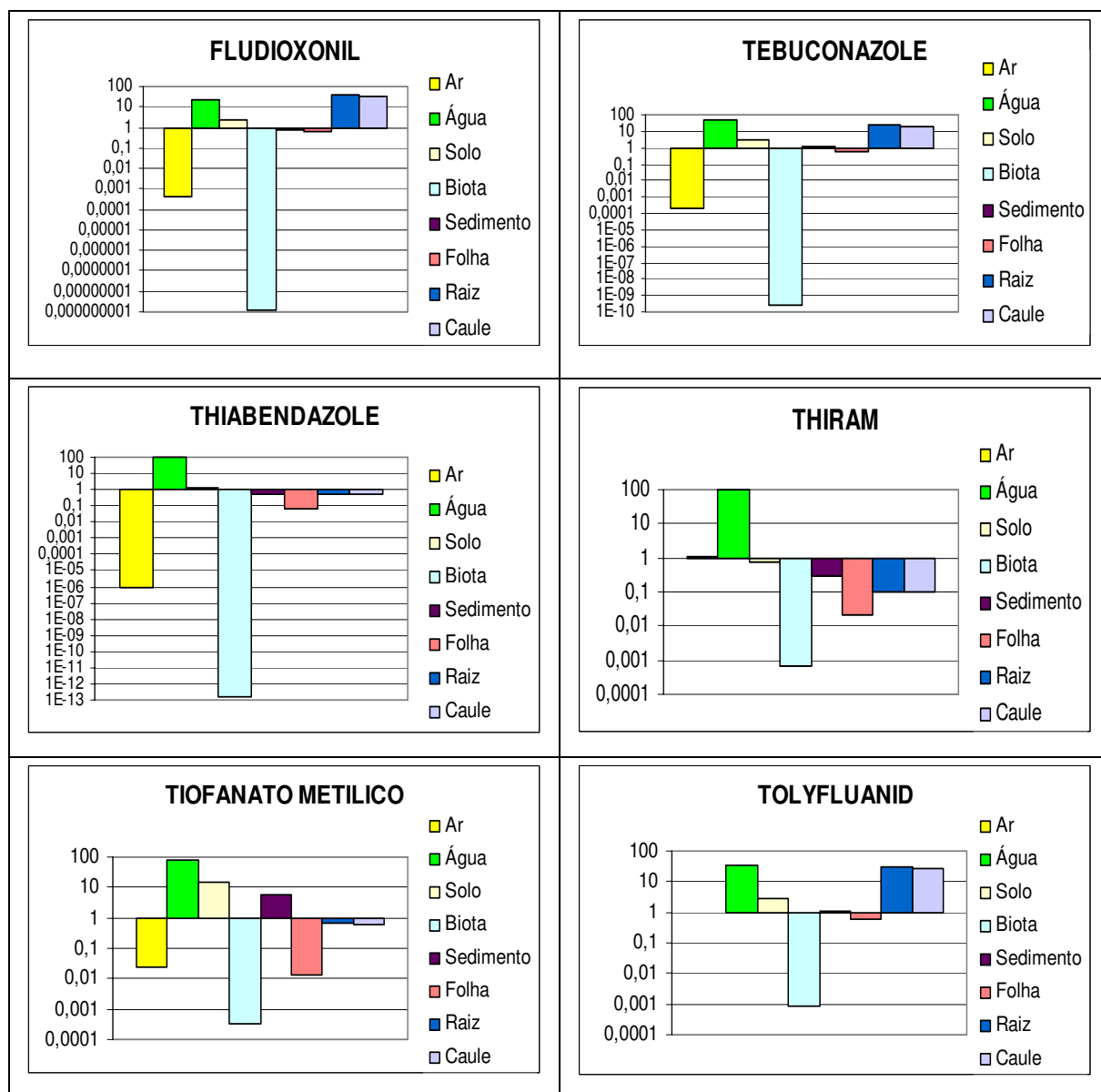
**Figura 36** - Diagramas da distribuição dos herbicidas pelos vários compartimentos ambientais estudados na cultura do milho, após a aplicação do Modelo de Mackay (1991).

## 4.7 FUGACIDADE DOS PESTICIDAS RECOMENDADOS PARA A CULTURA DA SOJA

### 4.7.1 Fungicidas

Relacionando os fungicidas expostos na figura 37, tiofanato metílico evidenciou afinidade em concentrar nos compartimentos água, solo e sedimento. Os fungicidas fludioxonil, difenoconazole, tebuconazole, e tolyfluanid apresentaram afinidade em distribuir pelos compartimentos água, solo, caule e raiz. Os outros fungicidas avaliados indicaram preferência em concentrar no compartimento água.



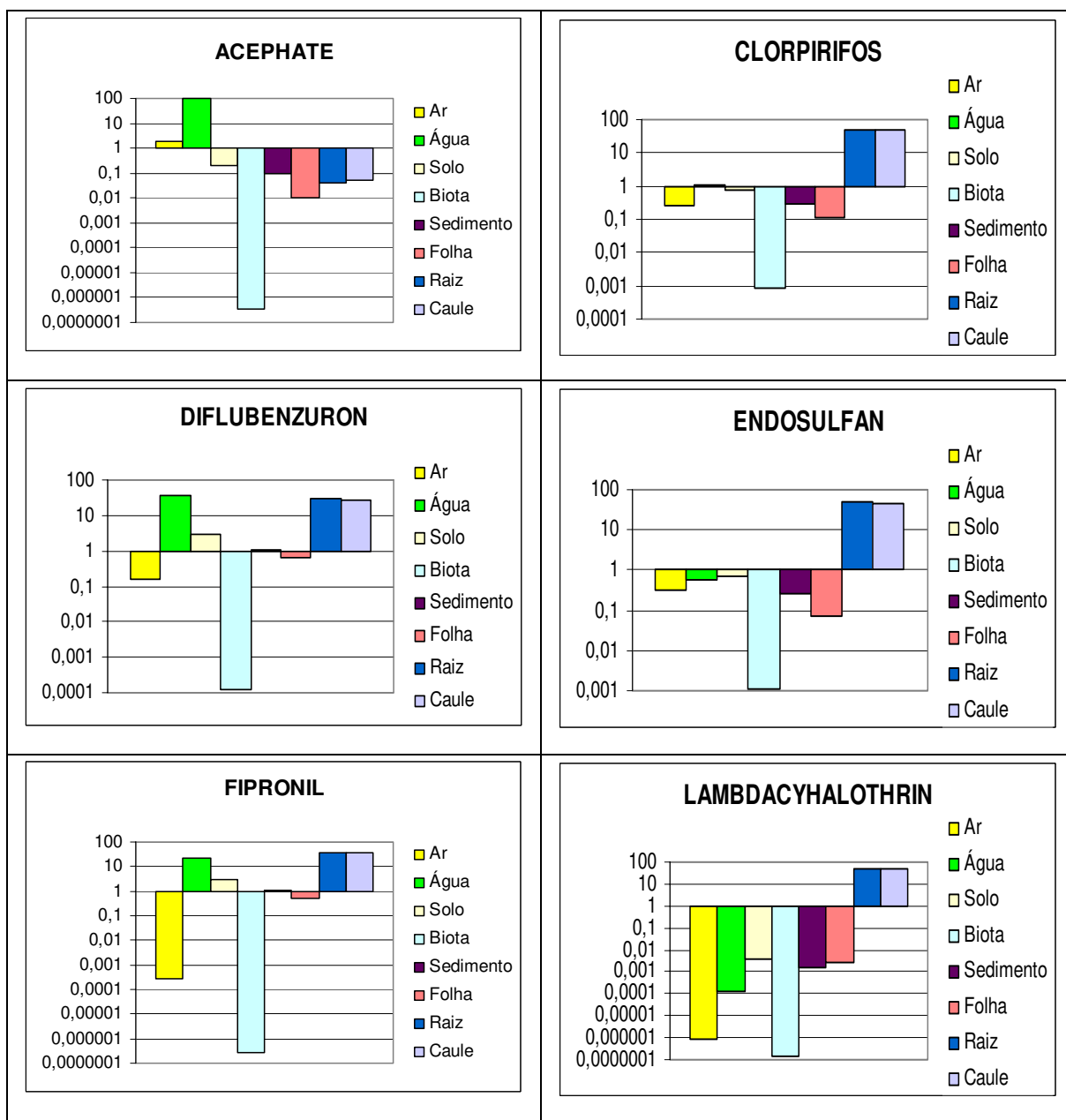


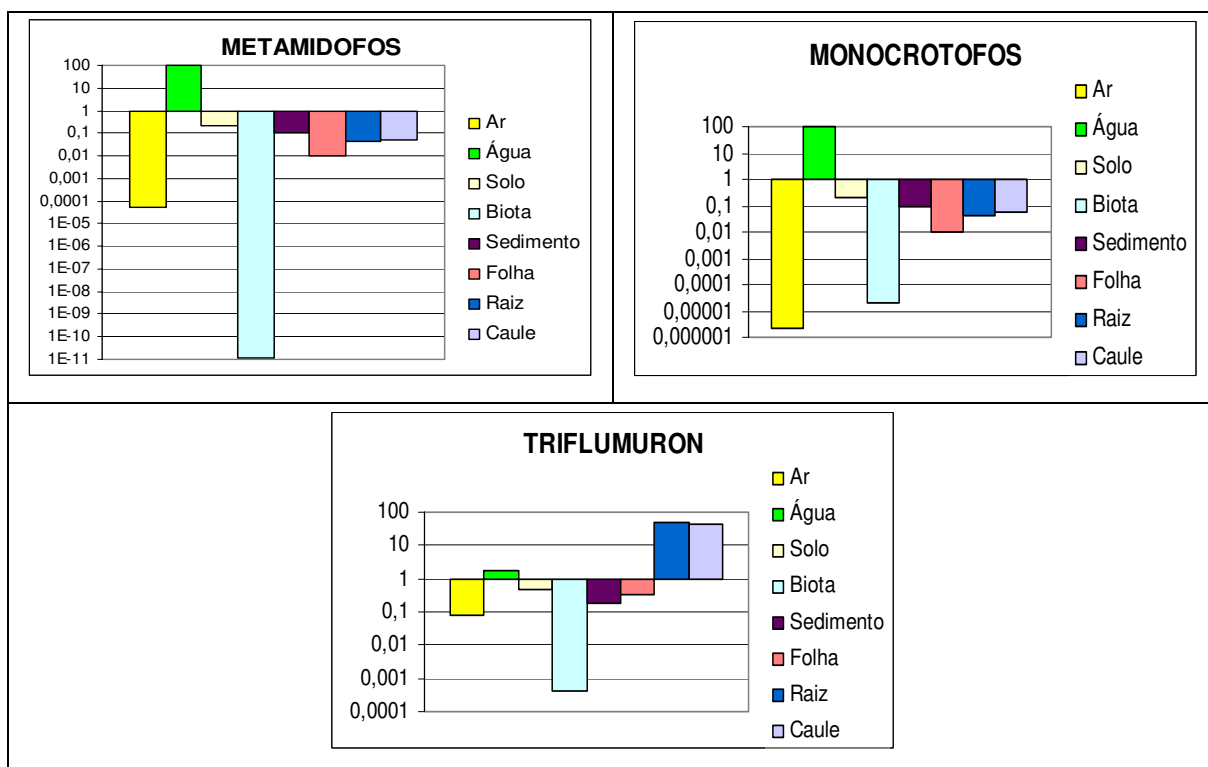
**Figura 37** - Diagramas da distribuição dos fungicidas pelos vários compartimentos ambientais estudados na cultura da soja, após a aplicação do Modelo de Mackay (1991).

#### 4.7.2 Inseticidas

Considerando os inseticidas apresentados na figura 38, os produtos endossulfan e chlorpyrifos, lambdacyhalothrin e triflumuron indicaram preferência pelos compartimentos caule e raiz. Os produtos diflubenzuron e fipronil mostraram preferir os compartimentos água

solo, caule e raiz, já os demais produtos manifestaram pelos resultados obtidos, serem preferenciáveis pelo compartimento água.

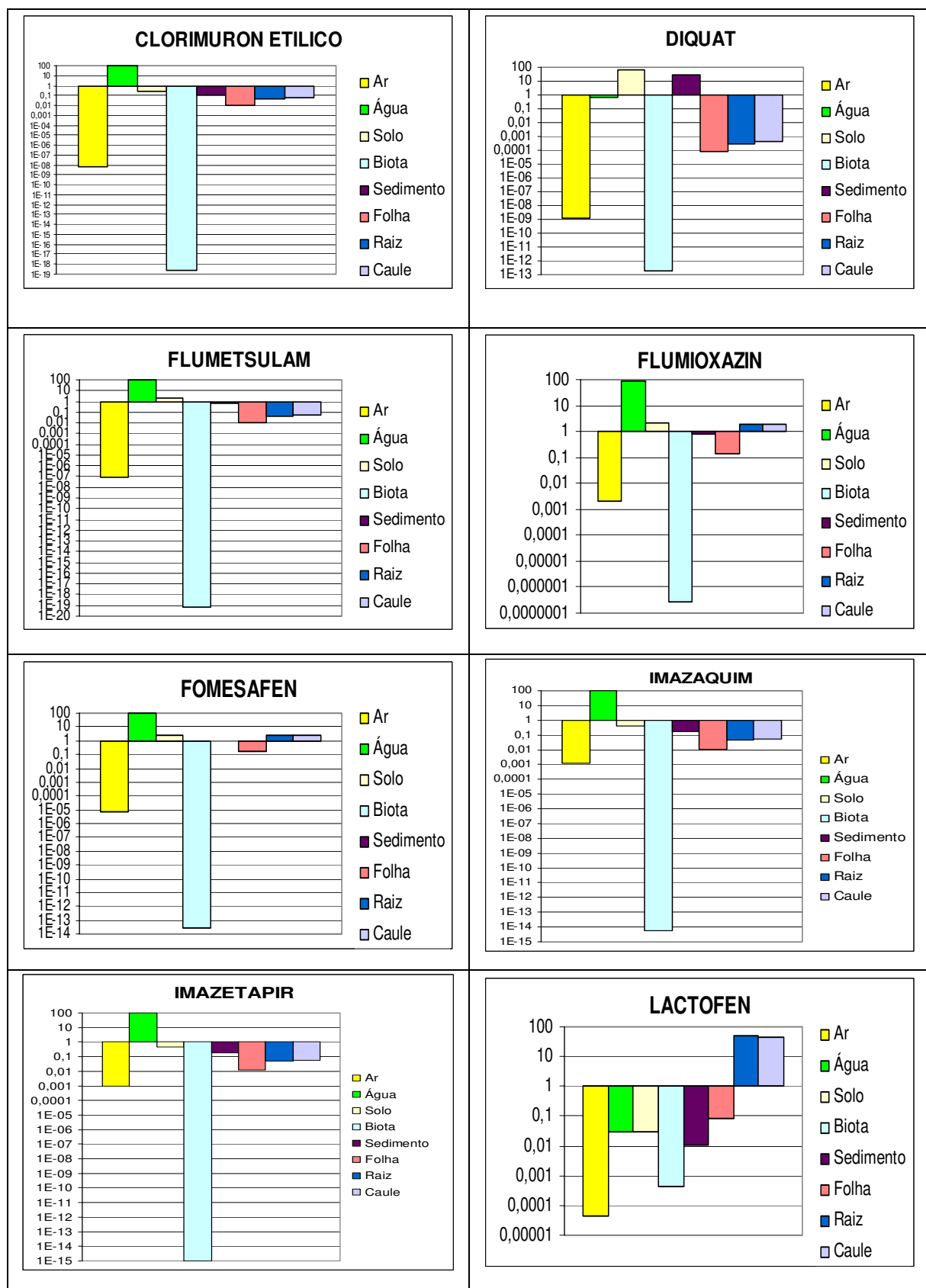


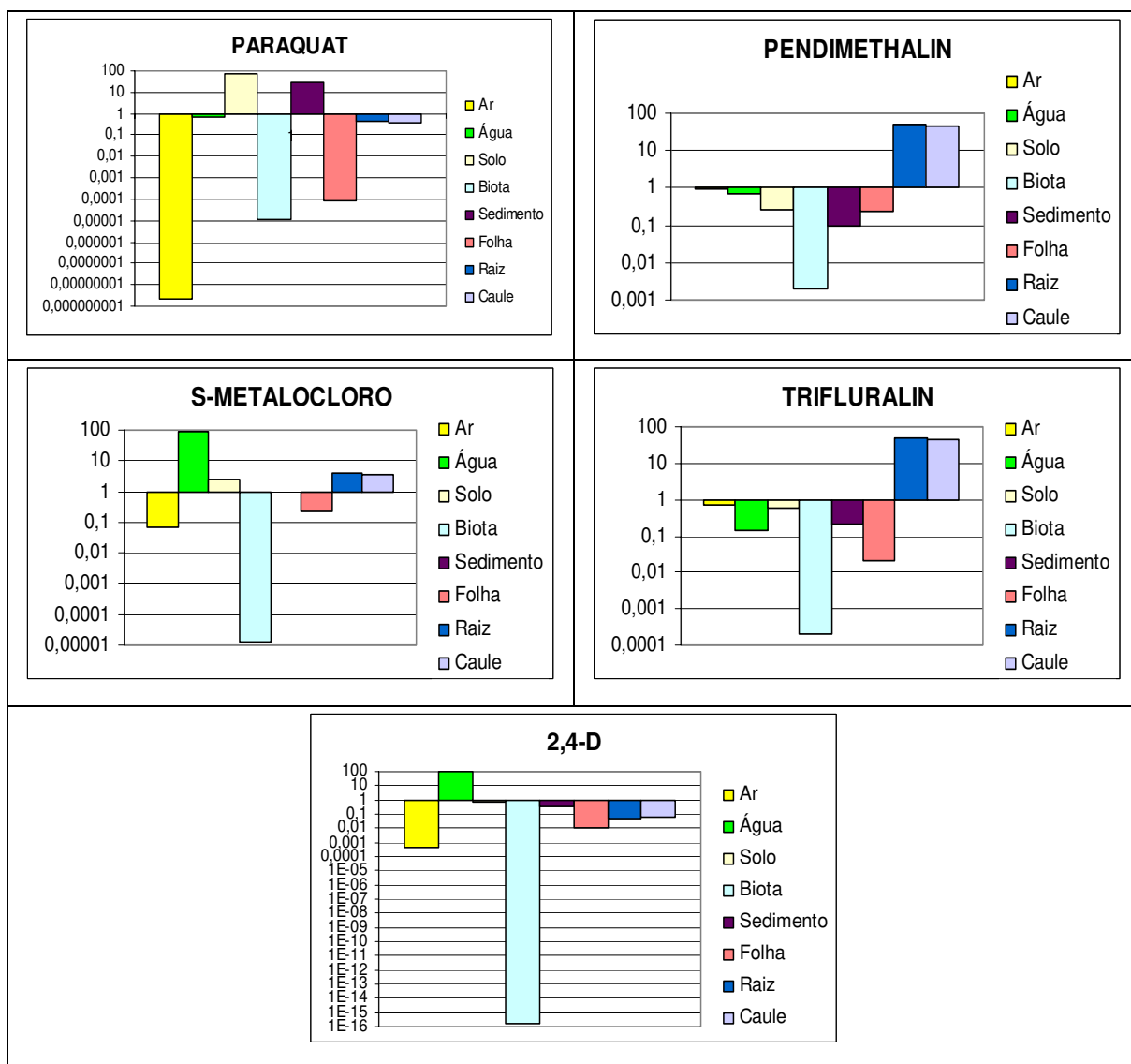


**Figura 38** - Diagramas da distribuição dos inseticidas pelos vários compartimentos ambientais estudados na cultura da soja, após a aplicação do Modelo de Mackay (1991).

#### 4.7.3. Herbicidas

Com relação aos herbicidas apontados na figura 39, os produtos lactofen, pendimethalin e trifluralin mostraram preferir distribuí-se pelos compartimentos caule e raiz. Os produtos diquat e paraquat apontaram preferir para concentrar os compartimentos solo e sedimento. S-metalocloro, fomesafen e flumioxazin apontaram distribuir-se pelos compartimentos água, solo, caule e raiz. Todos os demais herbicidas avaliados apresentaram tendência em concentrar no compartimento água.





**Figura 39** - Diagramas da distribuição dos herbicidas pelos vários compartimentos ambientais estudados na cultura da soja, após a aplicação do Modelo de Mackay (1991).

#### 4.8 Distribuição em ordem decrescente dos 10 principais pesticidas

Os dez produtos a seguir foram selecionados de acordo com sua preferência na distribuição nos diferentes compartimentos ambientais estudados. As tabelas 9 e 10 mostram em ordem decrescente os 10 principais pesticidas que mais se distribuíram nesses compartimentos.

**Tabela 9** – Distribuição em ordem decrescente dos 10 pesticidas que mostraram maior preferência em concentrar nos diferentes compartimentos ambientais.

|                                   | Compartimentos    |                         |                        |                       |
|-----------------------------------|-------------------|-------------------------|------------------------|-----------------------|
|                                   | Ar                | Água                    | Solo                   | Sedimento             |
| Pesticidas                        | Acetochlor (H)    | Nicosulfuron (H)        | Diquat (H)             | Diquat (H)            |
| Concentração (g.m <sup>-3</sup> ) | 3,31055           | 99,59530                | 72,01792               | 27,25855              |
| Pesticidas                        | Disulfuton (I)    | Metsulfuron methyl (H)  | Paraquat (H)           | Paraquat (H)          |
| Concentração (g.m <sup>-3</sup> ) | 2,64576           | 99,59446                | 71,41766               | 27,03135              |
| Pesticidas                        | Acephate (I)      | Monocrotofós (I)        | Hexythiazox (A)        | Hexythiazox (A)       |
| Concentração (g.m <sup>-3</sup> ) | 1,77280           | 99,59257                | 25,80300               | 9,77516               |
| Pesticidas                        | Thiodicarb (I)    | Bispyribac-sodium (H)   | Parathion. Metil (I)   | Parathion metil (I)   |
| Concentração (g.m <sup>-3</sup> ) | 1,39177           | 99,57807                | 16,71066               | 6,33200               |
| Pesticidas                        | Quinclorac (H)    | Metamidofós (I)         | Benomyl (F)            | Benomyl (F)           |
| Concentração (g.m <sup>-3</sup> ) | 1,26495           | 99,56892                | 14,97951               | 5,68634               |
| Pesticidas                        | Thiran (F)        | Thiamethoxam (I)        | Tiofanato metílico (F) | Tifanato metílico (F) |
| Concentração (g.m <sup>-3</sup> ) | 1,03787           | 99,52227                | 14,31444               | 5,43474               |
| Pesticidas                        | Tolifluanid (F)   | Halosulfuron methyl (H) | MSMA (H)               | MSMA (H)              |
| Concentração (g.m <sup>-3</sup> ) | 0,96881           | 99,51003                | 12,88059               | 4,89271               |
| Pesticidas                        | Pendimethalin (H) | Chlorimuron etílico (H) | Iprodione (F)          | Iprodione (F)         |
| Concentração (g.m <sup>-3</sup> ) | 0,90900           | 99,49387                | 9,62934                | 3,65775               |
| Pesticidas                        | Trifluralin (H)   | Imazapic (H)            | Epoxiconazole (F)      | Epoxiconazole (F)     |
| Concentração (g.m <sup>-3</sup> ) | 0,72961           | 99,4759                 | 7,10296                | 2,69677               |
| Pesticidas                        | Endosulfan (I)    | Imidacloprid (I)        | Propargite (A)         | Propargite (A)        |
| Concentração (g.m <sup>-3</sup> ) | 0,30685           | 99,40925                | 6,48554                | 2,45489               |

(H): Herbicidas; (I): Inseticidas; (F): Fungicidas; (A) Acaricidas

**Tabela 10** – Distribuição em ordem decrescente dos 10 pesticidas que mostraram maior preferência em concentrar nos diferentes compartimentos ambientais.

|                                   | Compartimentos    |                       |                       |                       |
|-----------------------------------|-------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|                                   | Biota             | Folha                 | Raíz                  | Caule                 |
| Pesticidas                        | Propanil (H)      | Aldicarb (I)          | Lambdacyhalothrin (I) | Lambdacyhalothrin (I) |
| Concentração (g.m <sup>-3</sup> ) | 0,00661           | 13,92404              | 52,56901              | 47,42300              |
| Pesticidas                        | Acetochlor (H)    | Fluazifop-p-butil (H) | Zetacypermethrin (I)  | Zetacypermethrin (I)  |
| Concentração (g.m <sup>-3</sup> ) | 0,00424           | 3,57117               | 52,56172              | 47,41642              |
| Pesticidas                        | Disulfoton (I)    | Metconazole (F)       | Cypermethrin (I)      | Cypermethrin (I)      |
| Concentração (g.m <sup>-3</sup> ) | 0,00243           | 0,75444               | 52,56124              | 47,41599              |
| Pesticidas                        | Pendimethalin (H) | Diflufenzuron (I)     | Alfacypermetrina (I)  | Alfacypermetrina (I)  |
| Concentração (g.m <sup>-3</sup> ) | 0,00191           | 0,63649               | 52,55401              | 47,40946              |
| Pesticidas                        | Bifenthrin (I)    | Tolyfluanid (F)       | Bifenthrin (I)        | Bifenthrin (I)        |
| Concentração (g.m <sup>-3</sup> ) | 0,00149           | 0,62954               | 52,51863              | 47,37755              |
| Pesticidas                        | Carboxin (F)      | Disulfoton (I)        | Acrinathrin (I)       | Acrinathrin (I)       |
| Concentração (g.m <sup>-3</sup> ) | 0,00138           | 0,62950               | 52,50010              | 47,36084              |
| Pesticidas                        | Endosulfan (I)    | Fludioxonil (F)       | Permethrin (I)        | Permethrin (I)        |
| Concentração (g.m <sup>-3</sup> ) | 0,00112           | 0,62226               | 52,49369              | 47,35505              |
| Pesticidas                        | Clorpirifós (I)   | Difenoconazole (F)    | Lactofen (H)          | Lactofen (H)          |
| Concentração (g.m <sup>-3</sup> ) | 0,00086           | 0,60099               | 52,49286              | 47,35368              |
| Pesticidas                        | Tolyfluanid (F)   | Acetochlor (H)        | Betacyflutrin (I)     | Betacyflutrin (I)     |
| Concentração (g.m <sup>-3</sup> ) | 0,00081           | 0,59713               | 52,46470              | 47,32890              |
| Pesticidas                        | Thiram (F)        | Tebuconazole (F)      | Chlorfluazuron (H)    | Chlorfluazuron (H)    |
| Concentração (g.m <sup>-3</sup> ) | 0,00063           | 0,57914               | 52,42685              | 47,29477              |

(H): Herbicidas; (I): Inseticidas; (F): Fungicidas; (A) Acaricidas

Pelos resultados obtidos, os produtos que apresentaram maior preferência em distribuir pelo compartimento ar foram os pesticidas acetochlor seguidos em ordem decrescente pelos produtos dissulfuton, acephate, thiodicarb, quinclorac, thiram, tolyfluanid, pendimethalin, trifluralin e endosulfan, expresso na tabela 9. Os resultados descritos neste trabalho que mostraram os produtos clorpirifós, trifluralin e endosulfan com preferência pelo compartimento ar, estão em concordância com o trabalho de SÁNCHEZ-BAYO et al. (2002). Estes produtos mesmo sendo voláteis, isto é, que mostraram preferência em distribuir pelo compartimento ar, segundo SÁNCHEZ-BAYO et al. (2002) apresentam risco de inalação e possível contaminação humana via respiração desprezível.

O produto clorpirifós, descrito neste trabalho não mostrou preferência pelo compartimento ar, não concordando assim com o trabalho de YENIGUN e SOHTORIK (1995), que utilizando o modelo de fugacidade nível II, verificaram preferência deste produto por este compartimento. Isto se deve possivelmente a metodologia utilizada nesta dissertação, uma vez que, foram utilizados três compartimentos (raiz, caule e folha) a mais, podendo assim a distribuição do pesticida ocorrer dentro dos compartimentos de forma mais homogênea e não se concentrando neste compartimento, porque os compartimentos raiz, caule e folha mostraram assim serem mais vulneráveis ao pesticida que o compartimento ar.

Através dos resultados, pode-se notar que de todos os compartimentos ambientais avaliados, a água foi o que apresentou a maior vulnerabilidade aos pesticidas estudados. Dentre os 10 principais pesticidas, citados na tabela 9, os que mostraram maior tendência em concentrar no compartimento água foram em ordem decrescente os produtos nicosulfuron, metsulfuron-methyl, monocrotofós, bispyribac-sodium, metamidofós, thiamethoxam, halosulfuron, clorimuron-etílico, imazapic e imidacloprid. Os dados deste trabalho mesmo não determinando os produtos clorpirifós, parathion-methyl e o triclorfon entre os 10 principais pesticidas que mostraram maior tendência em concentrar no compartimento água, verificou que estes produtos possuem grande capacidade de concentrar na água. Os resultados dos pesticidas clorpirifós, parathion-methyl e triclorfon nesta dissertação vêm de encontro aos dados relatados por YENIGUN e SOHTORIK (1995). Resultados semelhantes foram obtidos nesta dissertação, estão de acordo com os relatados por LAABS et al. (2002), que evidenciaram a presença de clorpirifós, alachlor, ametrina chlorothalonil, metolachlor, metribuzin, simazine tebuconazole e trifluralin em amostras de água superficial na área do

Pantanal Matogrossense. SANCHES-BAYO et al. (2002), em trabalho realizado com os produtos parathion-methyl, methomyl, thiodicarb, aldicarb e dimethipin, phorate, omethoate evidenciaram que estes pesticidas possuem de alto a médio risco de contaminação do compartimento água, pois apresentaram de grande a moderada preferência em distribuir por este compartimento. Estes resultados concordam com os obtidos neste trabalho, pois mesmo não estando entre os dez principais produtos selecionados na tabela 9, eles foram analisados e evidenciados como produtos que mostraram grande tendência em distribuir pelo compartimento água.

NICOLELLA (2001), em sua tese cita que o produto tebuthiuron por apresentar grande solubilidade em água e grande persistência no meio ambiente (meia-vida maior), é um produto que pode ser considerado de alto risco de contaminação das águas do Aquífero Botucatu (Guarani), estas informações estão concordando com os relatados neste trabalho, pois o produto tebuthiuron, mesmo não estando entre os dez principais produtos com maior tendência em concentrar pelo compartimento água, citados na tabela 9, mostrou ter grande afinidade por este compartimento.

Considerando os compartimento solo e sedimento, os pesticidas que mostraram maior preferência em concentrar nestes compartimentos de acordo com a tabela 9, foram em ordem decrescente diquat, paraquat, hexythiazox, parathion-methyl, benomyl, tiofanato-metilico, msma, iprodione, epoxiconazole e propargite. YENIGUN e SOHTORIK (1995), observaram que os produtos clorpirifós, parathion-methyl apresentaram grande capacidade de distribuir além dos compartimentos ar e água, também pelos compartimentos solo e sedimento. SÁNCHEZ-BAYO et al. (2002), evidenciaram através de trabalho realizado que os produtos parathion-methyl, endosulfan, propargite e chlorfenapyr apresentam moderada persistência em solos e sedimentos. LAABS et al. (2002), observou que os produtos ametrina, endosulfan, simazine e triazofos mostraram se concentrar no sedimento. Os resultados obtidos nesta tese estão de acordo com os observados por YENIGUN e SOHTORIK (1995), SÁNCHEZ-BAYO et al. (2002) e LAABS et al. (2002), pois produtos trabalhados pelos autores que coincidiram com o da tese mostraram a mesma tendência em concentrar nos compartimentos solo e sedimento. Os outros pesticidas citados pelos autores, no trabalho também apresentaram grande capacidade de preferência pelos compartimentos solo e sedimento e só não apareceram

entre os 10 principais, porque entre os vários produtos trabalhados, tiveram outros que apresentaram maior capacidade de concentrar nestes dois compartimentos.

Relacionando o compartimento planta (raiz, caule e folha), os dados descritos na tabela 10, notamos que em ordem decrescente, os produtos que mostram preferir concentrar no compartimento folha foram aldicarb, fluazifop-p-butil, metconazole, diflubenzuron, tolyfluanid, disulfoton, fludioxonil, difenoconazole, acetochlor e tebuconazole. SÁNCHEZ-BAYO et al. (2002), em trabalho realizado, verificaram que os produtos parathion-methyl, endosulfan, clorpirifós, propargite e profenofós mostraram a preferência em distribuir pelo compartimento planta. Na dissertação, os dados obtidos estão em concordância com os relatos por SÁNCHEZ-BAYO et al. (2002), pois mesmo trabalhando com os mesmos produtos que os autores e verificando a tendência destes produtos em concentrar no compartimento folha, devido a grande quantidade de outros produtos avaliados parathion methyl, endosulfan, clorpirifós, propargite e profenofós não ficaram classificados entre os 10 principais pesticidas que concentram no compartimento folha.

Analisando os compartimentos caule e raiz, com relação aos dados apresentados na tabela 10, podemos concluir em ordem decrescente que os 10 principais pesticidas que mostraram preferência em concentrar nestes compartimentos foram lambdacyhalothrin, zetacypermethrin, cypermethrin, alfacipermetrina, bifenthrin, acrinathrin, permethrin, lactofen, betacyfluthrin e chlorfluazuron. Os dados apresentados neste trabalho mostram concordâncias com os relatados por SÁNCHEZ-BAYO et al. (2002), onde mesmo não classificando os produtos parathion-methyl, endosulfan, clorpirifós, propargite e profenofós entre os 10 principais com tendência de concentrar nos compartimentos caule e raiz, verificou-se que estes pesticidas possuem afinidade com estes dois compartimentos.

Para o compartimento biota, verificou-se que através dos dados descritos na tabela 10, que os principais pesticidas que apresentaram afinidade em ordem decrescente em concentrar no compartimento biota foram propanil, acetochlor, disulfoton, pendimethalin, bifenthrin, carboxin, endosulfan, clorpirifós, tolyfluanid e thiram. YENIGUN e SOHTORIK (1995), em seu trabalho, obtiveram como resultados, que os produtos clorpirifós e parathion-methyl manifestaram leve tendência em distribuir pelo compartimento, concordando assim com os resultados descritos na dissertação, pois mesmo parathion methyl não estando entre os dez produtos citados na tabela 10, mostrou; se entre os pesticidas estudados, grande afinidade

com o compartimento biota. O produto clorpirifós nesta tese e também no trabalho de YENIGUN e SOHTORIK (1995), mostrou os maiores níveis de distribuição no compartimento biota, ficando entre os 10 principais produtos e concordando assim com a metodologia empregada em ambos os trabalhos sobre o comportamento dos pesticidas no ambiente e qual a sua tendência em concentrar nos compartimentos ambientais ar, água, solo, sedimento, folha, caule, raiz e biota.

#### 4.9 Distribuição dos pesticidas em ordem alfabética segundo o critério de GUS

**Tabela 11** – Distribuição dos pesticidas analisados pelo potencial de lixiviação, segundo o critério de Goundwater Ubiquity Score -GUS.

| Pesticidas          | meia-vida<br>(dias) | Koc<br>(mL g <sup>-1</sup> ) | GUS   | Critério de<br>lixiviação |
|---------------------|---------------------|------------------------------|-------|---------------------------|
| 2,4-D               | 10                  | 20                           | 2,70  | I                         |
| Abamectin           | 28                  | 5000                         | 0,44  | NL                        |
| Acephate            | 3                   | 2                            | 1,76  | NL                        |
| Acetamiprid         | 8,2****             | 199****                      | 1,55  | NL                        |
| Acetochlor          | 55***               | 20***                        | 4,70  | L                         |
| Acrinathrin*        | 52,5*               | 223555*                      | -2,32 | NL                        |
| Alachlor            | 15                  | 170                          | 2,08  | I                         |
| Aldicarb            | 30                  | 30                           | 3,73  | L                         |
| Alfacypermetrina    | 30                  | 100000                       | -1,48 | NL                        |
| Ametrina            | 60                  | 300                          | 2,71  | I                         |
| Atrazina            | 60                  | 100                          | 3,56  | L                         |
| Azocyclotin         | nd                  | 4907*****                    | nd    | ND                        |
| Azoxystrobin        | 70*                 | 500*                         | 2,40  | I                         |
| Benomyl             | 67                  | 1900                         | 1,32  | NL                        |
| Betacyflutrin       | 63*****             | 62400*****                   | -1,43 | NL                        |
| Bifenthrin          | 26                  | 240000                       | -1,95 | NL                        |
| Bispyribac sodium   | 10*                 | 2*****                       | 3,70  | L                         |
| Carbendazim         | 120                 | 400                          | 2,91  | L                         |
| Carbofuran          | 50                  | 22                           | 4,52  | L                         |
| Carbosulfan         | 2**                 | 2000**                       | 0,21  | NL                        |
| Carboxin            | 3                   | 260                          | 0,76  | NL                        |
| Carfentrazone-ethyl | 3,25*               | 750*                         | 0,58  | NL                        |
| Chlorfluazuron      | 42*                 | 7456*****                    | 0,21  | NL                        |
| Clorimuron etílico  | 40                  | 110                          | 3,14  | L                         |
| Clorpirifós         | 30                  | 6070                         | 0,32  | NL                        |
| Cyproconazole       | 90*                 | 234****                      | 3,19  | L                         |
| Clomazone           | 24                  | 300                          | 2,10  | I                         |

|                    |           |           |       |    |
|--------------------|-----------|-----------|-------|----|
| Cypermethrin       | 30        | 100000    | -1,48 | NL |
| Deltametrina       | 25*       | 8380000*  | -4,09 | NL |
| Diafentiuon        | 1,4*      | 7107***** | 0,02  | NL |
| Difenoconazole     | 1380***** | 1097****  | 3,01  | L  |
| Diflubenzuron      | 10        | 10000     | 0,00  | NL |
| Dimetoato          | 7         | 20        | 2,28  | I  |
| Diquat             | 1000      | 1000000   | -6,00 | NL |
| Disulfoton         | 30        | 600       | 1,80  | I  |
| Diuron             | 90        | 480       | 2,58  | I  |
| Endosulfan         | 50        | 12400     | -0,16 | NL |
| Epoxiconazole      | 75*       | 1802*     | 1,40  | NL |
| Ethion             | 150       | 10000     | 0,00  | NL |
| Fempropatrin       | 5         | 5000      | 0,21  | NL |
| Fenthion           | 34        | 1500      | 1,26  | NL |
| Fipronil           | 366       | 749*      | 2,89  | L  |
| Fluazifop-p-butil  | 15        | 5700      | 0,29  | NL |
| Fludioxonil        | 365*      | 1614***** | 2,03  | I  |
| Flumetsulam        | 60***     | 356***    | 2,58  | I  |
| Flumioxazin**      | 22**      | 22        | 3,57  | L  |
| Fomesafen          | 100       | 60        | 4,44  | L  |
| Halosulfuron       | 16        | 93,5      | 2,44  | I  |
| Hexazinone         | 90        | 54        | 4,43  | L  |
| Hexythiazox        | 30        | 6200      | 0,31  | NL |
| Imazapic           | 102       | 180       | 3,50  | L  |
| Imazaquim          | 60        | 20        | 4,80  | L  |
| Imazetapir         | 90        | 10        | 5,86  | L  |
| Imidacloprid       | 514       | 997*****  | 2,71  | I  |
| Iprodione          | 14        | 700       | 1,32  | NL |
| Lactofen           | 3         | 10000     | 0,00  | NL |
| Lambdacyhalothrin  | 30        | 180000    | -1,85 | NL |
| Lufenuron          | 16,5*     | 3303***** | -0,59 | NL |
| Metalcloro         | 195***    | 200***    | 3,89  | L  |
| Metconazole        | nd        | 510*****  | nd    | ND |
| Metamidofós        | 6**       | 5**       | 2,57  | I  |
| Methidathion       | 7         | 400       | 1,18  | I  |
| Metomyl            | 30        | 72        | 3,16  | L  |
| Metribuzin         | 40        | 60        | 3,56  | L  |
| Metsulfuron methyl | 30        | 35        | 3,63  | L  |
| Monocrotofós       | 30        | 1         | 5,91  | L  |
| Msma               | 185***    | 7000***   | 0,35  | NL |
| Nicosulfuron       | 21        | 30        | 3,34  | L  |
| Oxyfluorfen        | 35        | 100000    | -1,54 | NL |
| Paraquat           | 1000      | 1000000   | -6,00 | NL |
| Parathion metil    | 5**       | 5000**    | 0,21  | NL |
| Pencycuron         | 140       | 1950***** | 1,52  | NL |
| pendimethalin      | 44        | 17200     | -0,39 | NL |
| Permethrin         | 30        | 100000    | -1,48 | NL |

|                    |         |            |       |    |
|--------------------|---------|------------|-------|----|
| Profenofós         | 8       | 2000       | 0,63  | NL |
| Propanil           | 1       | 149        | 0,00  | NL |
| Propargite         | 56      | 4000       | 0,70  | NL |
| Pyraclostrobin     | 19,5*   | 11000*     | -0,05 | NL |
| Quinclorac         | 30**    | 100**      | 2,95  | L  |
| Simazine           | 60      | 130        | 3,35  | L  |
| Tiofanato metílico | 1       | 225*****   | 0     | NL |
| Tebuconazole       | 597     | 1000*****  | 2,78  | I  |
| Tebuthiuron        | 360     | 80         | 5,36  | L  |
| Teflubenzuron      | 49*     | 1237*****  | 1,53  | I  |
| Tetraconazole      | nd      | 1226*      | nd    | ND |
| Thiabendazole      | 403     | 2500       | 1,57  | NL |
| Thiamethoxam       | 51*     | 6****      | 5,50  | L  |
| Thidiazuron        | 80**    | 500**      | 2,48  | I  |
| Thiodicarb         | 7**     | 350**      | 1,23  | NL |
| Thiram             | 15      | 670        | 1,38  | NL |
| Tolyfluanid        | 4,5     | 766        | 0,73  | NL |
| Triadimenol        | 300     | 1000       | 2,48  | I  |
| Triazophos         | 9*      | 392*****   | 1,34  | NL |
| Ttriclорfon        | 10      | 10         | 3,00  | L  |
| Triflumuron        | 39***** | 2568*****  | 0,34  | NL |
| Trifluralin        | 60      | 8000       | 0,17  | NL |
| Zetacypermethrin   | 30      | 54000***** | -1,08 | NL |

\* PESTICIDE MANUAL (2002)

\*\* WEBER (1994)

\*\*\* INOUE et al., ( 2003)

\*\*\*\* EPA (2002).

\*\*\*\*\* Valores calculados

\*\*\*\*\* CASJEN

\*\*\*\*\* APLAD-SARLIS (1999)

\*\*\*\*\* PEST MANAGEMENT REGULATORY AGENCY HEALTH CANADA (1999)

A tabela 11 descreve em ordem alfabética o comportamento dos pesticidas segundo o índice de GUS, onde os mesmos são classificados em função dos seguintes critérios: a) produtos que possuem potencial não lixiviador (NL), o valor de GUS=1,8; b) intermediário (I), com valor de  $1,8 < \text{GUS} < 2,8$  e potencial lixiviador (L), onde,  $\text{GUS} \geq 2,8$ . Dos produtos avaliados destacam-se com o potencial de lixiviação independente dos valores, pois uma vez que o índice de GUS foi igual ou superior a 2,8, o produtos foram considerados com potencial de lixiviação temos, o acetochlor, aldicarb, atrazina, bispyribac-sodium, carbendazim, carbofuran, clorimuron etílico, cyproconazole, difenoconazole, fipronil, flumioxazin, fomezafen, hexazinone, imazapic, imazaquim, imazetapir, metalacloro, metomyl, metribuzin, metsulfuron-methyl, monocrotofós, nicosulfuron quinclorac, simazine, tebuthiuron,

thiamethoxam e triclofon. Estes resultados estão em concordância com os relatados por INOUE et al. (2003), onde classificou e demonstrou quanto ao potencial de lixiviação pelo critério de GUS, que os produtos acetochlor, atazina, clorimuron-etílico, fomesafen, hexazinone, imazapir, imazaquim, imazetapir, metolachlor, metribuzin, metsulfuron methyl, nicosulfuron e tebuthiuron. INOUE et. al. (2003), no seu trabalho cita ainda os produtos alachlor com potencial lixiviante e os dados obtidos no trabalho determinou este produto como intermediário. Esta variação é explicada em decorrência possível da fonte de Koc pesquisada pela autora e mesmo sendo um produto que apresenta potencial intermediário de lixiviação pelo critério de GUS, mostra uma preocupação que deverá ser monitorada. A autora ainda cita o produto simazine com potencial não lixiviante pelo critério de GUS, e lixiviante pelos critérios de CDFA e Cohen. O resultado pelo critério de GUS, obtido por INOUE et. al. (2003), para este produto está em desacordo com o dados obtidos por este trabalho, pois na tese o produto simazine utilizando o critério de GUS, se mostrou com potencial de lixiviação, em compensação a autora pelos critérios de CDFA e Cohen verificou que este mesmo produto apresentou potencial de lixiviação. Esta variação pode ser explicada pela fonte de dados obtidos pelos autores na elaboração do trabalho.

De acordo FERRACINE et al (2001), em trabalhos realizados, os resultados indicaram que dentre os pesticidas utilizados, os que apresentarem potencial de lixiviação segundo o critério de GUS, foram carbendazim, metomil, monocrotofós. Os dados apresentados por FERRACINE et al (2001) estão de acordo com os relatados neste trabalho, onde os produtos citados pelos autores com potencial de lixiviação, vem de encontro com as informações obtidos nesta tese e demonstra que as fontes de dados obtidos para o trabalho e a metodologia empregada foram similares.

Em trabalho realizado por DORES e FREIRE (2001), observaram que os pesticidas que apresentaram contaminação em potencial segundo o critérios de GUS, foram methomyl, Atrazina, metribuzin, simazine, chlorimuron, flumetsulam, fomesafen, imazaquin, imazetapir, e metolachlor. Os resultados obtidos por DORES e FREIRE (2001), apresentam concordância com os relatados neste trabalho, pois os produtos que mostraram ser contaminante em potencial pelos autores também foram determinados com potencial de lixiviação na tese.

NICOLELLA et al (2001), em sua tese cita que o produto tebuthiuron por apresentar grande solubilidade em água e grande persistência no meio ambiente (meia-vida maior), é um

produto que pode ser considerado de alto risco de contaminação das águas do Aquífero Botucatu (Guarani), estas informações estão concordando com os relatados neste trabalho, pois o produto tebuthiuron pelo critério de GUS mostrou ter grande potencial de lixiviação.

Os produtos que apresentaram segundo critério de GUS, potencial não lixiviante e intermediário, mesmo não apresentando grande grau de preocupação quanto a possível contaminação de águas subterrâneas (Aquíferos), deverão ser monitorados com o objetivo de impedir qualquer possível contaminação.

A importância de se realizar estudos para a determinação do coeficiente de adsorção e da meia-vida dos pesticidas nos solos e temperaturas da região onde são utilizados estes produtos, bem como a necessidade de realizar um banco de dados sobre estas informações tem que ser ressaltados.

O conhecimento do destino ambiental dos pesticidas mais utilizados na agricultura brasileira, se não com precisão absoluta, mas com idéia do destino do compartimento ambiental preferencial pode sugerir medidas de gerenciamento de risco as quais possibilitem a redução do perigo potencial.

Deve-se salientar que entre as etapas e ações desenvolvidas desde a identificação do perigo, análise do risco e gerenciamento do risco, as atividades desenvolvidas envolvem o governo, a comunidade científica e o setor privado. O setor privado sempre estará envolvido desde a pesquisa até a análise do risco. A comunidade científica acompanha desde o início da pesquisa até o gerenciamento, cabendo assim ao governo a tomada de decisão e a fiscalização. As tecnologias utilizadas para reduzir a exposição estão em constante mutação e desenvolvimento.

As ferramentas técnicas de redução do risco incluem uma ampla gama de procedimentos dos quais muitos são específicos da situação e os tratamentos posteriores dos efluentes são geralmente usados nas instalações industriais. Para o uso de pesticidas na agricultura há muitas opções disponíveis, incluindo da modificação do bico de pulverização até práticas culturais e de manejo integrado de pragas.

Toda avaliação de risco pressupõe uma análise do risco e benefício, onde estão envolvidos os aspectos ecológicos, econômicos, sociais e a avaliação ambiental propriamente dita.

## 6. CONCLUSÕES

1. A avaliação preliminar do risco de contaminação pelo uso de pesticidas em um agroecossistema pode ser feita de forma relativamente simples a partir das características físico-químicas destes produtos utilizando o modelo de fugacidade Mackay Nível I (1991).

2. O compartimento ambiental que apresentou maior vulnerabilidade na preferência da distribuição dos pesticidas avaliados foi o compartimento água.

3. O modelo de fugacidade avaliado no presente trabalho mostrou ser uma excelente ferramenta que poderá ser utilizada na falta de maior quantidade de informações como fator de decisão na utilização do pesticida escolhido.

4- O critério de GUS apresentou-se como mais um mecanismo para ser utilizado na falta de informações, como tomada de decisão na escolha da utilização de um pesticida visando monitorar ou até mesmo impedir a contaminação de águas subterrâneas.

## REFERÊNCIAS

ALVES, A.; KOTAKA, E.T.; ZAMBRONE, F.A.D.; MAZOTINI, H.; BRITTO, J.C., FOLONI, L.L., VALADÃO, M.B.; BRAATZ, R.; SCHVARTSMANS, S. avaliação de Risco de Agrotóxicos, Diretrizes e Conceitos Básicos. ILSI. Brasil, International Life Science Institute do Brasil, 1999. p.43 apud FOLONI, L.L. Impacto sobre o meio ambiente plantio direto. In: SIEMBRA DIRECTA EM EL CONO SUR, 2001. Montevideo. **Documentos**...Montevideo: Procisur, 2001. p.19-42.

ANDREI, E. **Compêndio de Defensivos Agrícolas**. 6ed. São Paulo: Org. Andrei Ed., 1999.

APLADA-SARLIS, P.G.; MILIADIS, G.E.; TSIROPOULOS, N.G. Dissipation of teflubenzuron and triflumuron residues in field-sprayed and cold-stored pears. **Journal Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v.47, n.7, p.2926-2929, Jul.,1999.

ART, H. W. **Dicionário de ecologia e Ciências ambientais**. São Paulo. Companhia Melhoramentos, 1998.

BASTOS, Cândido Ricardo et al.. Arroz. In: FAHL et al. (Ed.) **Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1998. p.31-32. (Boletim, 200).

BRASIL. Lei nº 7802, de 11 junho de 1989. Dispõe sobre a pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem e rotulagem, o transporte, armazenamento, a comercialização, a propaganda comercial, a utilização, a importação, a exportação, o destino final dos resíduos das embalagens, o registro, a classificação, o controle, a inspeção e a fiscalização de agrotóxicos, seus componentes e afins, e dá outras providências. <<http://e-legis.bvs.br/leisref/public/search.php>>, 05/05/2004.

BRU, R.; CARRASCO, J. M.; PARAÍBA, L. C. Unsteady state fugacity model by a dynamic control system. **Applied Mathematical Modelling**, Guildford, v.22, p.485-494, 1998.

CALAMARI, D.; VIGHI, M.; BACCI, E. The use of terrestrial plant biomass as a parameter in the fugacity model. **Chemosphere**, Oxford, v.16, n.10-12, p.2359-2364, 1987.

CARSON, Rachel. **Silent spring**. London: Penguin Books, 2000.

CASJENS, Heather. **Environmental fate of cyfluthrin**. 10P. Disponível em: <http://www.cdpr.ca.gov/docs/empm/pubs/fatememo/cyfluthrin.pdf>, Acesso em: 01 mar. 2004.

CHIAVEGATO, Ederaldo José et al.. Algodão. In: FAHL et al. (Ed.) **Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas**. Campinas: Instituto Agronômico, 1998. p.75-77. (Boletim, 200).

DEUBER, R. **Ciência das plantas daninhas, fundamentos**. Jaboticabal. FUNEP, 1992.43.

DORES, Eliana Freire Gaspar de Carvalho; FREIRE, Ermelinda Maria De-Lamonica. Contaminação do ambiente aquático por pesticidas. Estudo de caso: águas usadas para consumo humano em Primavera do Leste, Mato Grosso-análise preliminar. **Química Nova**, v.24, n.1, p.27-36, 2001.

EMANS, H. J. B.; BEEK, M. A.; LINDERS, J. B. H. J., 1992. Evaluation system for pesticides (ESPE) 1. Bilthoven. Agricultural pesticides. National Institute of Public Health and Environmental Protection (RIVM), Rep. No. 679101004.

ENVIROMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). Office of Prevention, Pesticides and Toxic Substances (7501C). **PESTICIDE FACT SHEET**. Acetamiprid. March, 15, 2002.14p. Disponível em: <<http://www.epa.gov/opprd001/factsheets/acetamiprid.pdf>>, Acesso em 07 jun.2004.

FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. 1986. p.30-54.

FAO. Revised Guidelines on environmental criteria for the registration of pesticides. **Food and Agricultural Organization of the United Nations**. Rome, December, 1989. p.51 apud FOLONI, L.L. Impacto sobre o meio ambiente plantio direto. In: SIEMBRA DIRECTA EM EL CONO SUR, 2001. Montevideo. **Documentos**...Montevideo: Procisur, 2001. p.19-42.

FAZUOLI, Luiz Carlos et al.. Café. In: FAHL et al. (Ed.) **Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas**. Campinas: Instituto Agronômico, 1998. p.59-63. (Boletim, 200).

FERRACINI, Vera L. et al. Análise de risco de contaminação das águas subterrâneas e superficiais da região de Petrolina (PE) e Juazeiro (BA). **Pesticidas. Revista Ecotoxicológica e Meio Ambiente**, Curitiba, v.11, p.1-16, jan./dez., 2001.

FIGUEIREDO, Pery et al.. Cana-de-açúcar. In: FAHL et al. (Ed.) **Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1998. p.251-253. (Boletim, 200).

FILIZOLA, Heloisa Ferreira et al.. Monitoramento e avaliação do risco de contaminação por pesticidas em águas superficial e subterrânea na região de Guaíra. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.5, p.659-667, maio, 2002.

FNP – CONSULTORIA & COMÉRCIO. **Agrianual 2002**: anuário da agricultura brasileira. São Paulo, 2002. 141-501p.

FOLONI, L.L. Impacto ambiental do uso de herbicidas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 22, 2000, Londrina. **Palestra...** Londrina: Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, 2000. p.49-91.

\_\_\_\_\_. Impacto sobre o meio ambiente plantio direto. In: SIEMBRA DIRECTA EN EL CONO SUR, 2001, Montevideo. **Documentos** ...Montevideo: Procisur, 2001. p.19-42.

FUNDECITROS. Fundo de Defesa da Citricultura. **Manual de Pinta-Preta**. Araraquara-SP, 2000. p.6-7.

GUSTAFSON, D.I.; Groundwater ubiquity score: a simple method for assessing pesticide leachability. **Environmental Toxicology and Chemistry**, New York, v.8, p.339-357, 1989.

HEALTH CANADA. **Pest Management Regulatory Agency. Proposed Regulatory Decision Document PRDD99-01**. Difenconazole. 62p. Disponível em:<<http://www.hccs.gc.ca/pmra-arla/english/pdf/prdd/prdd9901-e.pdf>>, April.14, 1999. Acesso em: 16 nov.2003.

IMAZAPIC. In: TU, Mandy; HURD, Callie; RANDALL, John M. **Weed control methods handbook**: tools and techniques for use in natural areas. [S.l.]: The nature conservancy, chap.7, 7p. Disponível em: <<http://tncweeds.ucdavis.edu/products/handbook/16.Imazapic.pdf>>, Acesso em : 07 jun.2004.

INOUE, M.H. et al. Critérios para avaliação do potencial de lixiviação dos herbicidas comercializados no estado do Paraná. **Planta Daninha**, Viçosa, v.21, n.2, p.313-323, 2003.

KAWAMOTO, K.; URANO, K. Parameters for predicting fate of organochlorine pesticides in the environment (II) Adsorption constant to soil. **Chemosphere**, Oxford, v.19, p.1223-1231, 1989.

KOOKANA, R. S.; SIMPSON, B. W. Pesticide Fate in Farming Systems: Research and Monitoring. **Communication Soil Science and Plant Analysis**, v.31, n.11-14, p.641-1659, 2000.

KOTAKA, E. T.; ZAMBRONE, F.A.D. **Contribuições para construção de diretrizes de avaliação de risco toxicológico de agrotóxicos**. Campinas. ILSI. 2001. p.1-157.

LAABS, Volker et al. Pesticides in surface water, sediment, and rainfall of the northeastern Pantanal basin, Brazil. **Journal Environment Quality**, Madison, v.31, p.1636-1648, 2002.

LEWIS, Gibert Newton. The law of physico-chemical change. **Proceedings of the American Academy**, v.37, p.49-69, 1901.

LAVORENTI, A. Comportamento dos herbicidas no meio ambiente. In: WORKSHOP SOBRE BIODEGRADAÇÃO. Campinas, 1996, Jaguariúna. **Anais...** Jaguariúna: Embrapa-CNPMA, p.81-115, 1996.

LAVORENTI, A. Identificação de perigos de resíduos ligados de pesticidas em substâncias húmicas. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS, 2., São Carlos, 1997. **Anais**. São Carlos, Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuária, 1997. p.66-71.

LAVORENTI, A. Comportamento dos herbicidas no solo. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS, 3., Santa Maria, 1999. **Anais**. Santa Maria, Universidade de Santa Maria, p.21-34, 1999.

LAVORENTI, A.; PRATA, F.; REGITANO, J.B. Comportamento de pesticidas em solos-fundamentos. In: **Tópicos em Ciência do Solo**. v.3, p.291-334, 2003.

MACKAY, Donald. Finding fugacity feasible. **Environmental Science & Technology**, Washington, v.13, n.10, p.1216-1223, Oct., 1979.

MACKAY, Donald.; PATERSON, Sally. Calculating fugacity. **Environmental Science & Technology**, Washington, v.15, n.9, p.1006-1014, 1981.

MACKAY, Donald.; PATERSON, Sally. Fugacity revisited. **Environmental Science & Technology**, Washington, v.16, n.12, p.654-660, 1982.

MACKAY, DONALD **Multimedia environmental models: the fugacity approach**. Michigan: Lewis Publishers. 1991. 257p.

MARUR, E.I.; RUANO, O. **Cultivar**, ano IV, nº 38, Abril, 2002. p.16-17.

MATTOS JUNIOR, Dirceu et al.. Citros. In: FAHL et al. (Ed.) **Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas**. Campinas: Instituto Agronômico, 1998. p.111-114. (Boletim, 200).

MIRANDA, Manoel Albino de et al.. Soja. In: FAHL et al. (Ed.) **Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas**. Campinas: Instituto Agronômico, 1998. p.297-299. (Boletim, 200).

MONTEIRO, R.T.R. Degradação de pesticidas. In: MELO, I.S.; AZEVEDO, J.L.1998. (Ed.) **Microbiologia ambiental**, Jaguariúna: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. p.107-124.

NICOLELLA, Gilberto. **Risco de contaminação do lençol freático, pelo herbicida tebuthiuron em cultura de cana-de-açúcar, utilizando-se o simulador CMLS**. 168p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.

OECD. **Workshop on the application of simple models for environmental exposure assessment**. Berlin, 1991.

PARAÍBA, Lorival Costa. **Modelización de la fugacidad mediante sistemas dinámicos discretos**. 1999. p.199. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valência, Espanha.

PARAÍBA, L. C.; CARRASCO, J. M.; BRU, R. Level IV fugacity model by continuous time control system. **Chemosphere**, Oxford, v.38, n.8, p.1763-1775, 1999.

PARANHOS, S. B. (Coord.). Cana de Açúcar: Cultivo e Utilização. Campinas. Fundação Cargill, 1987.v.1, p.66-87.

PEREIRA, U.J. O arroz no mundo. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v.26, n.273, p.4-13, 1973.

PEST MANAGEMENT REGULATORY AGENCY HEALTH CANADA. 2250 CANADA, OTTAWA, ONTARIO. K1A0K9. APRIL, 14, 1999. PROPOSED REGULATORY DECISION DOCUMENT PRDD99-01.1-57p.

<http://www.hc-sc.gc.ca/pmra-arla/english/pdf/prdd/prdd9901-e.pdf>

<http://www.fluorideaction.org/pesticides/tolyfluanid.australia.mrl.htm>

PIMENTEL, D. Amounts of pesticides reaching target pest: environmental impacts and ethics. **Journal Agriculture Environmental Ethics**, v.8, p.17-29, 1995.

RIBEIRO, A.S. Doenças. In: **Fundamentos para a cultura do arroz irrigado**. Fundação Cargill. Campinas, 1985. p.205-250.

SÁNCHEZ-BAYO, Francisco; BASKARAN, Sundaram; KENNEDY, Ivan Robert. Ecological relative risk (EcoRR): another approach for risk assessment of pesticides in agriculture. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v.91, p.37-57, 2002.

SAWAZAKI, Eduardo; Galvão, João Carlos Cardoso; PATERNIANI, Maria Elisa A. G. Zagatto. Milho. In: FAHL et al. (Ed.) **Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1998. p.37-39. (Boletim, 200).

SCHUZ, R. Comparison of spray drift and runoff related input of azinphos-methyl and endosulfan from fruit orchards into the Lourens river, South Africa. **Chemosphere**, Oxford, v.45, p.543-551, 2001.

SEVERN, David J.; BOLLARD, Gary. Risk/Benefit and regulations. In: CHENG, H.H. **Pesticides in the soil environmental: processes, impacts, and modeling**. Madison: Soil Science Society of America, 1990. chap.13, p.467-491. (SSSA Book Series, 2).

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE PRODUTOS PARA DEFESA AGRÍCOLA-SINDAG. Disponível em: <http://www.Sindag.com.br/index.html>. acesso em: dezembro 2002.

SOLOMON, K.R. **Advanced Toxicological Hazard and Risk Assessment for Pesticides in the Environment**. Notes. University of Guelph, 1996. p.65.

STOLLER DO BRASIL LTDA. Divisão Arbore. Fases de Desenvolvimento da Soja. Cosmópolis. Sd. 4p.

The e- Pesticide Manual (Twelfth edition) Version 2.1. The British Crop Protection Council. Database Right 2001. Software developed by Wise & Loveys information Services Ltd.

[TOLYFLUANID]. Public Release Summary. Australia National Registration Authority (NRA) for Agricultural and Veterinary Chemicals. Disponível em: <<http://www.fluorideaction.org/pesticides/tolyfluanid.australia.mrl.htm>>, Acesso em: 16nov.2003.

TU et al. Weed control methods handbook. The nature conservancy. 7g. 1-7. Date de 07/06/2004, Disponível em: <http://tncweeds.ucdavis.edu/products/handbook/16.Imazapic.pdf>

VAN DER WERF, HAYO M. G. Assessing the impact of pesticides on the environment. **Agriculture Ecosystem Environmental**, Amsterdam, v.60, p.81-96, 1996.

VALADÃO, M.B. et al. **Avaliação de risco de agrotóxicos**. 1999. p.1-43.

VIGHI, Marco; DI GUARDO, Antonio. Predictive approaches for the evaluation of pesticide exposure. In: VIGHI, Marco; FUNARI, Enzo. **Pesticide risk in groundwater**. 1995. chap.3, p.73-100.

WEBER, J.B. Properties and behavior of pesticides in soil. In: **Mechanisms of pesticides movement into groundwater**. HONEYCUTT, Richard H.; SCHABACKER, Daniel J. London, Lewis Publishers, 1994, chapter 2, p.15-41.

WIN FIT-2000 Profissional. Compêndio Agrônomo com Receituário. Versão 3.0. Universidade Federal de Viçosa. Minas Gerais.

WOLFE, N.L.; MINGELGRIN, U.; MILLER, G.C. Abiotic transforamtions in water, sediments and soil. In: CHENG, H.H., Ed. **Pesticides in the soil environment: Processes, impacts, and modeling**. 2.ed. Madison: Soil Science Society of America.1990. p.103-168.  
YENIGÜN, O.; SOHTORIK, D. Calculation with the level II fugacity model for selected organophosphorus insecticides. **Water, Air and Soil Pollution**, Dordrecht, v.84, p.175-185, 1995.

ZAMBOLIM, L; CONCEIÇÃO, M.Z.; SANTIAGO, T. O que os Engenheiros Agrônomos devem saber para orientar o uso de produtos fitossanitários. 2<sup>o</sup> ed. Viçosa-Departamento de Fitopatologia,Univ., p.123.