



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

FLÁVIA FERNANDA SANTOS GOMES

PEGADA HÍDRICA CINZA DE AGROTÓXICOS APLICADOS À  
CULTURA DE MANGA TOMMY ATKINS NO VALE DO  
SUBMÉDIO SÃO FRANCISCO

RECIFE-PE  
SETEMBRO/2023

FLÁVIA FERNANDA SANTOS GOMES

PEGADA HÍDRICA CINZA DE AGROTÓXICOS APLICADOS À  
CULTURA DE MANGA TOMMY ATKINS NO VALE DO  
SUBMÉDIO SÃO FRANCISCO

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal Rural de Pernambuco, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Área de Concentração: Tecnologia e Gestão do Meio Ambiente – Controle e Remediação da Poluição.

Orientador: Prof. Dr. André Maciel Netto.

RECIFE-PE

SETEMBRO/2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Sistema Integrado de Bibliotecas  
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

G633p

Gomes, Flávia Fernanda Santos

Pegada Hídrica Cinza de agrotóxicos aplicados à cultura de manga Tommy Atkins no Vale do Submédio São Francisco / Flávia Fernanda Santos Gomes. - 2023.

85 f. : il.

Orientador: Andre Maciel Netto.

Inclui referências e anexo(s).

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Recife, 2023.

1. Pegada Hídrica Cinza. 2. Agrotóxicos. 3. Manga Tommy Atkins. 4. Contaminação da água. I. Netto, Andre Maciel, orient. II. Título

CDD 620.8

---

FLÁVIA FERNANDA SANTOS GOMES

PEGADA HÍDRICA CINZA DE AGROTÓXICOS APLICADOS À CULTURA DE  
MANGA TOMMY ATKINS NO VALE DO SUBMÉDIO SÃO FRANCISCO

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal Rural de Pernambuco, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental, na Área de Concentração de Tecnologia e Gestão do Meio Ambiente – Controle e Remediação da Poluição.

Aprovada em 25 de setembro de 2023.

---

Prof. Dr. André Maciel Netto  
Presidente da banca e orientador

BANCA EXAMINADORA:

---

Dr. Lourival Costa Paraíba  
EMBRAPA Meio Ambiente

---

Profa. Dra. Rogéria Mendes do Nascimento  
IFPE Campus Recife

*Dedico este trabalho aos meus pais, Cristiane e Fernando; ao meu irmão, Fábio e ao meu esposo Victor, por sempre acreditarem no meu potencial.*

## AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) pela oportunidade, à Walquíria pelo suporte sempre que precisei e a todos os professores pelos ensinamentos compartilhados. Aos técnicos, alunos e professores dos Laboratórios de Física e de Química do Solo da UFRPE pelo auxílio durante a realização das minhas análises. Dentre eles, agradeço de forma especial ao Eudes Oliveira, técnico do Laboratório de Física do Solo.

À CAPES, pela concessão da minha bolsa de pesquisa, que foi essencial para que eu conseguisse morar em Recife durante a realização das análises do meu mestrado e para que pudesse me manter financeiramente ao longo desses dois anos.

Ao professor André Maciel Netto, por ter sido um verdadeiro professor e orientador, por ter ouvido meus questionamentos e dado todo o suporte para que esta pesquisa fosse realizada. Agradeço por ser presente e por ter me apresentado um tema que eu não conhecia, mas que me identifiquei muito no decorrer da pesquisa.

À Embrapa Semiárido e ao Rogério dos Santos Martins (Produtor e Consultor Técnico em Manga do Vale Submédio São Francisco), pelo auxílio na coleta do solo da área de estudo e no fornecimento das informações necessárias para a realização deste estudo.

Ao meu esposo, Victor, que insistiu muito para que me inscrevesse na seleção do mestrado em 2021/2. Eu achava que não daria tempo de terminar a graduação e iniciar o mestrado naquele momento e, se não fosse por ele, não estaria conseguindo o título de mestre agora. Agradeço a ele também por todo apoio e suporte diário e por todas as vezes que me ouviu explicar algo sobre a minha pesquisa, pelas sugestões, incentivo e por acreditar em mim. Você é minha força.

Aos meus pais, Cristiane e Fernando, e ao meu irmão, Fábio, por todo apoio aos meus estudos, por todo incentivo e por todo amor. Desde que saiu meu nome na lista de aprovação no mestrado, para eles, eu já era mestra em Engenharia Ambiental. Amo vocês incondicionalmente.

Às minhas amigas da graduação, que também se tornaram amigas do mestrado e colegas de apartamento, Mariana Dlumou e Ana Lua. Nunca vou esquecer dos nossos momentos no apê 207 na Várzea e de todos os dias felizes (e perrengues) que vivemos por lá.

Ao meu “grupinho” do mestrado: Paula, Regina e Salatiel. Ter vocês para compartilhar os medos e os dramas de mestranda foi um suporte muito importante. Obrigada!

GOMES, Flávia Fernanda Santos. **Pegada hídrica cinza de agrotóxicos aplicados à cultura de manga Tommy no Vale do Submédio São Francisco.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2023.

## RESUMO

O cultivo da mangueira (*Mangifera indica* L.) é observado em todas as localidades, em especial no Nordeste do Brasil na região do Vale do São Francisco. Um dos principais cultivares da região é a manga Tommy Atkins. O sucesso do cultivo da manga no semiárido se deve ao diferencial de produzir o ano inteiro devido ao sistema de irrigação, utilizando as águas do Rio São Francisco, e o uso de agrotóxicos, em especial os reguladores de crescimento para promover a indução floral. No entanto, o uso intensivo de agrotóxicos na produção de alimentos tem gerado preocupação no contexto ambiental e de saúde pública. Ainda, a produção de manga na região gera uma elevada pegada hídrica. Os agrotóxicos aplicados podem atingir os corpos hídricos superficiais e subterrâneos, por meio do escoamento superficial e da lixiviação. Assim, uma boa alternativa para estimar o volume de água contaminada pelas misturas de agrotóxicos é a pegada hídrica cinza. Neste contexto, o objetivo geral do presente estudo foi estimar a pegada hídrica cinza da mistura de agrotóxicos aplicada na cultura de manga Tommy Atkins no Vale do Submédio São Francisco. Para alcançar este objetivo, foi realizada a caracterização do solo da parcela de cultivo, a avaliação potencial da contaminação dos corpos hídricos pelos agrotóxicos utilizando o Índice de GUS e o método de GOSS e a aplicação de dois modelos, o modelo de Hoekstra *et al.* (2011) e o de Paraíba *et al.* (2014) para estimar o Volume de Água Cinza (VAC) e elaborar um ranking de agrotóxicos, classificando-os em ordem de acordo com o VAC que geram. Os resultados apontaram que, embora o solo da região seja arenoso e vulnerável à lixiviação, os princípios ativos aplicados na cultura podem ser considerados de baixo potencial de contaminação das águas subterrâneas por lixiviação e de baixo a médio risco de contaminar os corpos hídricos superficiais. O VAC da mistura de agrotóxicos foi da ordem de grandeza de  $10^6$  m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> para o modelo de Hoekstra *et al.* (2011) e de  $10^7$  para o de Paraíba *et al.* (2014). Podendo concluir que o modelo de Paraíba *et al.* (2014) é mais sustentável ao meio ambiente, por considerar a toxicidade para organismos não-alvo. Ademais, é possível concluir que a pegada hídrica cinza da mistura de agrotóxicos aplicada na cultura foi elevada em ambos os modelos. Não existem outros trabalhos na região que tenham realizado essa estimativa, de modo que os resultados encontrados podem ser uma ferramenta importante para a escolha de agrotóxicos menos poluentes a serem aplicados na cultura.

**Palavras-chave:** Pegada Hídrica Cinza; Agrotóxicos; Manga Tommy Atkins; Contaminação da água

GOMES, Flávia Fernanda Santos. **Gray water footprint of pesticides applied in the Tommy mango crop in the Sub-middle São Francisco Valley**. Thesis (Master's Program in Environmental Engineering) – Federal Rural University of Pernambuco, Recife, 2023.

## ABSTRACT

Mango cultivation (*Mangifera indica* L.) is observed in all localities, particularly in the Northeast of Brazil in the region of the São Francisco Valley. One of the main cultivars in the region is the Tommy Atkins mango. The success of mango crop in the semi-arid region is attributed to the year-round production differential, facilitated by the irrigation system that utilizes water from the São Francisco River, and the use of pesticides, particularly growth regulators, to promote floral induction. However, the intensive use of pesticides in food production has raised concerns in the environmental and public health contexts. Additionally, mango production in the region generates a high water footprint. Pesticides applied in agriculture can contaminate both surface and groundwater bodies through surface runoff and leaching. Therefore, a viable approach to assess the volume of water contaminated by pesticide mixtures is through the use of grey water footprint. In this context, the main objective of this study was to assess the grey water footprint of the pesticide mixtures applied in Tommy Atkins mango crop in the Sub-middle São Francisco Valley. To achieve this objective, the soil characterization of the cultivation plot was conducted, the potential contamination of water bodies by pesticides was assessed using the GUS Index and GOSS method, and two models, Hoekstra *et al.* (2011) and Paraíba *et al.* (2014), were applied to assess the Grey Water Volume (GWV) and elaborate a ranking pesticide according to the GWV they generate. The results indicate that, despite the sandy and leaching-prone soil in the region, the active ingredients applied in the crop can be considered of low potential for groundwater contamination through leaching and of low to medium risk of contaminating surface water bodies. The GWV of the pesticide mixture was in the order of magnitude of  $10^6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  for the Hoekstra *et al.* (2011) model and  $10^7 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  for the Paraíba *et al.* (2014) model. It can be concluded that the Paraíba *et al.* (2014) model is more environmentally conservative, as it considers toxicity to non-target organisms. Furthermore, it can be concluded that the grey water footprint of the pesticide mixtures applied to the crop was high in both models. There are no other studies in the region that have conducted this estimation, thus the results found may serve as an important tool for selecting fewer polluting pesticides to be applied to the crop.

**Keywords:** Gray Water Footprint (GWF); Pesticide; Tommy Atkins mango; Water contamination

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Cadeia produtiva de manga no Vale do São Francisco.....	20
Figura 2. Nova classificação toxicológica dos agrotóxicos no Brasil. ....	24
Figura 3. Classificação dos agrotóxicos comercializados na região do Submédio São Francisco.....	25
Figura 4. Total de Agrotóxicos liberados e de agrotóxicos extremamente tóxicos no Brasil, no período 2009 e 2019.....	29
Figura 5. Coeficientes de incidência de intoxicação por agrotóxicos no Brasil no período de 2009 a 2019.....	29
Figura 6. Componentes de uma pegada hídrica.....	33
Figura 7. Mapa de localização da Cidade de Casa Nova – BA.....	50
Figura 8. Modelos para a estimativa da Pegada Hídrica Cinza. ....	54
Figura 9. Comparação entre os rankings obtidos pelos modelos P-Model e H-Model - 2021. ....	67
Figura 10. Comparação entre os rankings obtidos pelos modelos P-model e H-model - 2022. ....	69

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Propriedades dos agrotóxicos. ....	59
Quadro 2. Aplicação do índice de GUS e do método de GOSS.....	61
Quadro 3. Toxicidade, fator de retardo, recarga hídrica diária de água e fator de atenuação. ....	64

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Determinação do Índice de GUS .....	51
Tabela 2. Critérios para classificação dos agrotóxicos de acordo com o Método de Goss .....	52
Tabela 3. Coeficientes de cultivo ( $K_c$ ) adotados para a manga Tommy Atkins .....	55
Tabela 4. Caracterização físico-química do solo da área em estudo .....	56
Tabela 5. Número de aplicações dos agrotóxicos; Apl (kg); coeficiente de lixiviação-escoamento (Hoekstra) e coeficiente de escoamento (Paraíba).....	65
Tabela 6. Volume de Água Cinza dos agrotóxicos aplicados em 2021 .....	66
Tabela 7. Volume de Água Cinza dos agrotóxicos aplicados em 2022 .....	68

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>ABRASCO</b>	Associação brasileira de Saúde Coletiva
<b>AC</b>	Adição de Concentração
<b>ACV</b>	Análise de Ciclo de Vida
<b>AI</b>	Ação Independente
<b>Anvisa</b>	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
<b>A<sub>pl</sub></b>	Carga de poluente aplicada
<b>cca</b>	Centímetros de coluna d'água
<b>CETESB</b>	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
<b>C<sub>máx</sub></b>	Concentração máxima permitida
<b>C<sub>nat</sub></b>	Concentração natural
<b>CTC</b>	Capacidade de Trocas Catiônicas
<b>CVA</b>	Conteúdo Volumétrico de Água
<b>Embrapa</b>	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
<b>FISPQ</b>	Ficha de Informação de Segurança de Produtos Químicos
<b>IBAMA</b>	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
<b>IBGE</b>	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
<b>IDS</b>	Índices de Desenvolvimento Sustentável
<b>IUPAC</b>	<i>International Union of Pure and Applied Chemistry</i>
<b>MAPA</b>	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
<b>MS</b>	Ministério da Saúde
<b>PARA</b>	Programa de Análise de Resíduos de Agrotóxicos em Alimentos
<b>PBZ</b>	Paclobutrazol
<b>PEC</b>	<i>Predicted Environmental Concentration</i> - Concentração de agrotóxicos prevista na água do ambiente
<b>pH</b>	Potencial Hidrogeniônico
<b>PL</b>	Projeto de Lei
<b>PNEC</b>	<i>Probable No-Effect Concentration</i> - Concentração de efeito não previsto
<b>RIDE</b>	Região Administrativa Integrada de Desenvolvimento
<b>RSF</b>	Rio São Francisco

<b>UFRPE</b>	Universidade Federal Rural de Pernambuco
<b>VAC</b>	Volume de Água Cinza
<b>VAC<sub>MA</sub></b>	Volume de Água Cinza da mistura
<b>VAC<sub>i</sub><sup>ha</sup></b>	Volume de Água Cinza da mistura por hectare

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	16
<b>2.1. Objetivo Geral</b> .....	16
<b>2.2. Objetivos Específicos</b> .....	16
<b>3. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	17
<b>3.1 Mangueira</b> .....	17
<b>3.2. Agrotóxicos</b> .....	22
3.2.1. Legislação Ambiental .....	26
3.2.2. Impactos do uso dos agrotóxicos .....	27
<b>3.3. Mistura de agrotóxicos</b> .....	30
<b>3.4. Pegada Hídrica</b> .....	33
3.4.1. Pegada Hídrica Cinza .....	34
3.4.2. Modelos para estimativa da pegada hídrica cinza da mistura de agrotóxicos ....	36
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	39
<b>PEGADA HÍDRICA CINZA DE AGROTÓXICOS APLICADOS À CULTURA DE MANGA TOMMY ATKINS NO VALE DO SÃO FRANCISCO, BRASIL</b> ..	46
<b>RESUMO</b> .....	46
<b>ABSTRACT</b> .....	46
<b>INTRODUÇÃO</b> .....	47
<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	49
<b>Caracterização da área de estudo</b> .....	49
<b>Avaliação da contaminação potencial dos corpos hídricos pelos agrotóxicos aplicados na cultura</b> .....	50
<b>Modelos de avaliação da pegada hídrica cinza</b> .....	52
<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	55
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	72
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	77

<b>ANEXO</b> .....	79
--------------------	----

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos maiores produtores mundiais de alimentos e, associado ao modelo agropecuário adotado no país, também é um dos maiores consumidores de agrotóxicos do mundo. Dentre as culturas produzidas no Brasil, destaca-se a manga. O cultivo da mangueira (*Mangifera indica* L.) é observado em todas as localidades, em especial no Nordeste na região do Vale Submédio São Francisco (Araújo; Campos; Campos, 2018; Embrapa *et al.*, 2006, 2010; Lima; Almeida; Araújo, 2019). A manga é a cultura mais expressiva na região, produzindo uma média de 25 t ha<sup>-1</sup> (Ferreira, 2022). De acordo com a Embrapa *et al* (2010) e Ferreira (2022), a manga Tommy Atkins é um dos principais cultivares de mangueira, atendendo tanto ao mercado interno quanto à exportação.

O sucesso do cultivo na região semiárida se deve ao diferencial de produzir manga o ano inteiro devido ao sistema de irrigação, que utiliza as águas do Rio São Francisco (RSF), e o manejo artificial da floração da mangueira, por meio do uso de agrotóxicos reguladores de crescimento (Araújo; Campos; Campos, 2018; Dias *et al.*, 2018; Embrapa *et al.*, 2006, 2010). Ainda, as condições climáticas e do solo da região são favoráveis para o aparecimento de pragas e ervas daninhas que podem diminuir a produtividade e a qualidade dos cultivos, resultando em prejuízos econômicos para os agricultores e impactos negativos na oferta de alimentos. Por isso, a utilização de agrotóxicos é fator determinante para assegurar a produtividade agrícola (Ferracini *et al.*, 2001; Silva *et al.*, 2012).

No entanto, o uso intensivo de agrotóxicos na produção de alimentos tem gerado preocupação no contexto ambiental e de saúde pública. Dentre os principais efeitos do uso dos agrotóxicos tem-se o risco de contaminação do ar, do solo e da água, além de ser potencialmente nocivo para organismos não alvo e impactar negativamente a saúde humana, principalmente a saúde de trabalhadores rurais (Barreto *et al.*, 2020; Lopes; Albuquerque, 2018; Vale *et al.*, 2019). Ainda, vale pontuar que no combate a doenças e pragas na lavoura, é comum o agricultor utilizar misturas de diferentes agrotóxicos, obtendo assim um resultado mais eficiente no controle das pragas e reduzindo o custo final da produção. No entanto, essas misturas podem ser mais tóxicas devido à interação entre as diferentes substâncias e componentes ativos (Barreto *et al.*, 2020; Hernández; Gil; Lacasaña, 2017; Paraíba *et al.*, 2014; Vale *et al.*, 2019).

Os agrotóxicos podem atingir os corpos hídricos por meio do escoamento superficial e da lixiviação. Assim, é importante que se realize uma avaliação da contaminação potencial dos corpos hídricos por agrotóxicos, a fim de entender os riscos associados ao seu uso, conforme

propõe o índice de GUS, para avaliar o risco potencial de contaminação de águas subterrâneas por agrotóxicos e o método de Goss, usado para avaliar o risco potencial de contaminação de águas superficiais por agrotóxicos (Goss, 1992; Gustafson, 1989).

A produção da manga na região do Vale do São Francisco gera uma elevada pegada hídrica anual, tanto pela irrigação quanto pelo uso dos agrotóxicos (Dias *et al.*, 2018; Ribeiro, 2014). A pegada hídrica é um indicador, ou uma métrica, referente ao uso da água que considera seus usos múltiplos e é classificada em três tipos: água azul, que se refere à água retirada dos rios e lagoas para uso na irrigação (águas superficiais e subterrâneas); água verde, que se trata das águas pluviais armazenadas no solo; e água cinza, que é o volume de água virtualmente contaminada resultante de determinado processo. Neste contexto, uma boa alternativa para estimar o volume de água potencialmente contaminada pela mistura dos agrotóxicos é a pegada hídrica cinza, que foi introduzida a fim de expressar a poluição da água em termos de volume poluído (Barreto *et al.*, 2020; Hoekstra *et al.*, 2011; Paraíba *et al.*, 2014).

Existem alguns modelos para o cálculo da pegada hídrica cinza, dentre eles, o mais usual é o de Hoekstra *et al.* (2011), que busca expressar a qualidade da água. Já o modelo de Paraíba *et al.* (2014) assume o conceito de adição de concentração para prever a concentração de poluente que atingirá a água e, além de expressar a qualidade da água Para tanto, deve-se considerar o efeito tóxico do poluente em organismos aquáticos indicadores da qualidade da água. Os efeitos tóxicos agudos e crônicos dos agrotóxicos nesses organismos podem incluir a letalidade, alterações no crescimento, desenvolvimento, reprodução, fisiologia, comportamento, patologia, dentre outros efeitos tóxicos. A toxicidade do composto químico depende da susceptibilidade do organismo, das propriedades físico-químicas e de fatores ambientais (Tomita; Beyruth, 2002).

O cálculo da pegada hídrica cinza pode ser utilizado como um indicador de sustentabilidade agrícola e como um índice de poluição da água, buscando estimular uma melhor escolha dos agrotóxicos componentes das misturas utilizadas na cultura e também proteger os recursos hídricos. O objetivo geral desta pesquisa científica foi estimar a pegada hídrica cinza da mistura de agrotóxicos aplicada no cultivo comercial de manga Tommy Atkins no Vale do Submédio São Francisco. Para isso, teve como objetivos específicos à avaliação da contaminação potencial dos corpos hídricos por agrotóxicos; a estimativa da pegada hídrica cinza e a elaboração do ranking de agrotóxicos da mistura, auxiliando na tomada de decisões sobre o uso agrícola de misturas de agrotóxicos.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo Geral**

Estimar a pegada hídrica cinza da mistura de agrotóxicos aplicada na cultura de manga Tommy Atkins no Vale do Submédio São Francisco.

### **2.2. Objetivos Específicos**

- I. Avaliar o risco de contaminação potencial dos corpos hídricos por agrotóxicos em uma área de cultivo de manga Tommy Atkins;
- II. Estimar a pegada hídrica cinza da mistura de agrotóxicos aplicada em uma cultura de manga Tommy por meio dos modelos de Hoekstra *et al.* (2011) e de Paraíba *et al.* (2014) e compará-los;
- III. Elaborar um ranking de agrotóxicos para cada um dos agrotóxicos e respectivos modelos.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 Mangueira (*Mangifera indica* L.)

A manga é uma das frutas mais comercializadas e consumidas no mundo todo. O Brasil é o sétimo maior produtor e quinto maior exportador de manga com 8,80% da exportação mundial (Gazzola *et al.*, 2020). No Brasil, a manga Tommy Atkins é cultivada em praticamente todas as localidades, mas é possível destacar quatro principais regiões: Vale do São Francisco, com aproximadamente 30 mil hectares de cultura; Livramento de Nossa Senhora e Dom Basílio, na Bahia, com cerca de 12 mil hectares; São Paulo com, aproximadamente, 8,5 mil hectares e o Norte de Minas Gerais, com cerca de 7 mil hectares. Ganha destaque, especialmente, a região semiárida do Nordeste (Embrapa *et al.*, 2006; Lima; Almeida; Araújo, 2019).

A mangueira se adapta bem em regiões que tenham as estações bem definidas ou que possuam sistema de irrigação. Para o caso da irrigação, deve-se considerar vários aspectos, como o sistema radicular, as fases de desenvolvimento da planta, clima e solo da região de cultivo. A manga se desenvolve bem tanto em solos arenosos quanto nos argilosos, mas deve-se dar preferência, quando possível, aos solos areno-argilosos para o cultivo com fins comerciais (Embrapa *et al.*, 2006).

O Nordeste possui destaque na produção de manga no país, que é comum em quase todos os estados da região, mas vale ressaltar os polos irrigados de Petrolina – PE e Juazeiro-BA como os principais. Eles estão localizados no Vale do submédio São Francisco, que é uma região com produção de manga intensiva, baseada no monocultivo e responsável por cerca de 95% das exportações de manga brasileira (Araújo; Campos; Campos, 2018; Dias *et al.*, 2018; Silva *et al.*, 2012).

A região do Vale do Submédio São Francisco apresenta elevado potencial para a produção de fruticultura irrigada, destacando-se como a maior região produtora de frutas do país, como consequência da irrigação localizada, principalmente por gotejamento ou microaspersão (Ferreira, 2022). A Região Administrativa Integrada de Desenvolvimento (RIDE) do Polo Petrolina e Juazeiro faz parte dessa região e é um polo de desenvolvimento tecnológico da fruticultura irrigada no Brasil, destacando-se pelo cultivo de oleráceas, principalmente cebola, melancia e melão e frutas como a manga e a uva. A RIDE do Polo Petrolina e Juazeiro contempla as cidades de Casa Nova, Sobradinho, Juazeiro e Curaça na Bahia e as cidades de Petrolina, Lagoa Grande, Santa Maria da Boa Vista e Orocó pertencentes ao território de Pernambuco (Lima; Sousa, 2017; Queiroz, 2013).

O Polo Petrolina/Juazeiro produz frutas frescas para o mercado interno e externo, com destaque para manga e uva. O cultivo das frutas frescas é responsável pelo desenvolvimento da região, gerando emprego, renda e movimentando a economia local por meio da integração entre a agricultura, indústria e o comércio externo. A manga é a cultura mais expressiva na região, produzindo uma média de 25 t ha<sup>-1</sup> (Ferreira, 2022). De acordo com a Embrapa *et al.* (2010), as variedades da mangueira cultivadas com maior frequência na região são a "Tommy Atkins", a "Haden", a "Keitt", a "Kent", a "Palmer", a "Rosa" e a "Espada". Ainda, o cultivar de mangueira mais promissor é o Tommy Atkins, visto que é a mais comercializada em todo o mundo, ou seja, atende tanto ao mercado interno quanto à exportação.

A variedade Tommy Atkins foi originada nos Estados Unidos na década de 1920, está adaptada ao clima quente da região do Vale do Submédio São Francisco, apresenta maior resistência a pragas e doenças, como é o caso da Antracnose; maior durabilidade pós-colheita; regularidade na produção e resistência aos impactos mecânicos, o que é uma característica muito importante para a exportação, por se tornar menos perecível (Embrapa *et al.*, 2006, 2010; Mouco *et al.*, 2011).

Os frutos da manga Tommy Atkins possuem coloração avermelhada na casca, pouco cheiro e são medianamente fibrosos. Os frutos são médios a grandes, podendo pesar de 400 a 700 g, doces (17% de açúcares) com superfície lisa, casca grossa e resistente (Embrapa *et al.*, 2010). Além disso, apresenta facilidade de indução floral se comparada a outros cultivares. Devido a essas características, há boa aceitação da manga Tommy Atkins no mercado internacional, o que reflete na expressiva exportação dessa variedade para a Europa e Estados Unidos (Farias, 2014). De acordo com a Embrapa *et al.* (2010), a variedade Tommy Atkins era a mais cultivada nas propriedades localizadas no Vale do São Francisco, ocupando cerca de 95% da área total de cultivo de manga.

No entanto, de acordo com dados de 2018, discutidos por Ferreira (2022), a União Europeia tem preferência por variedades menos fibrosas, entre elas a Palmer. Assim, atualmente, a variedade Palmer representa cerca de 50% da produção na região de Petrolina/Juazeiro, enquanto a Tommy Atkins representa 30%, o que permanece sendo uma parcela expressiva da produção.

A floração natural da mangueira no semiárido ocorre em maior intensidade entre junho e agosto, período em que as temperaturas noturnas são inferiores a 20°C e as diurnas a 30°C e caracterizado por uma menor precipitação. No entanto, a possibilidade de produzir manga o ano inteiro é o maior diferencial na exploração da mangueira em regiões semiáridas, visto que as chuvas deixam de ser determinantes quando se pode contar com o sistema de irrigação que

utiliza a água disponível no Rio São Francisco (Embrapa *et al.*, 2006, 2010). Vale pontuar ainda que, no modelo agropecuário da monocultura irrigada na produção de frutas, a quantidade de água deve ser regulada e o fenômeno da chuva atrapalha a produção. Por isso, em função da escassez de água pluvial, a escolha do semiárido para a produção de manga se tornou viável (ABRASCO, 2012). De acordo com Ferracini *et al.* (2001), a agricultura irrigada na região possui elevado retorno social que garante a manutenção do homem no campo.

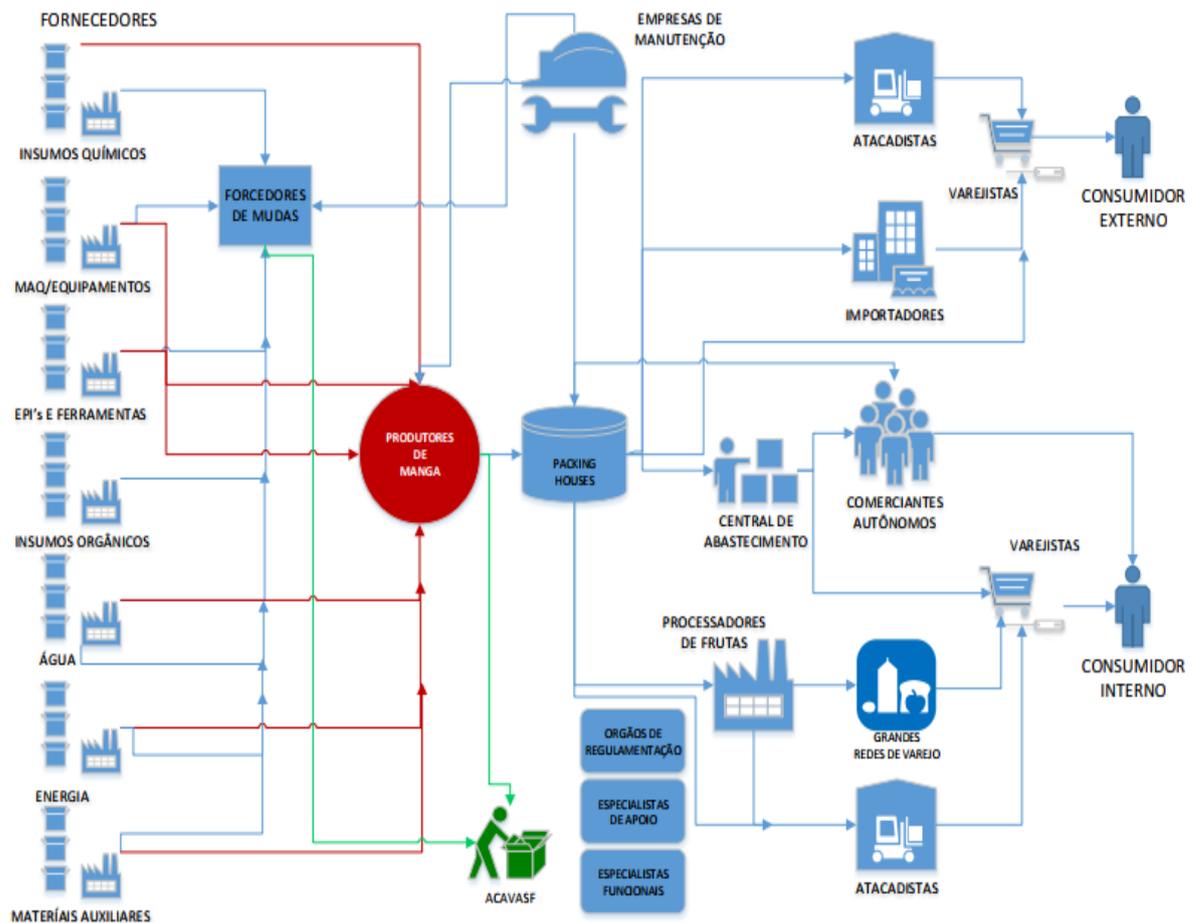
Assim, deve ser definido o manejo artificial de floração da mangueira de acordo com a época do ano do plantio previsto. Nesse processo, são utilizados reguladores de crescimento, como o Paclobutrazol (PBZ) para garantir a produção da manga em qualquer época do ano, visto que atua na inibição da síntese das giberelinas como regulador de crescimento vegetativo da mangueira. Também é utilizado o agrotóxico Etefom, que é um regulador de crescimento, no manejo da floração, com o objetivo da liberação de etileno nas plantas, para participar no processo de maturação das gemas e promover a floração (Embrapa *et al.*, 2006, 2010).

Farias (2014) desenvolveu um estudo sobre as contribuições de eco-inovações para a sustentabilidade da fruticultura de manga na região do Submédio São Francisco, utilizando como amostra 10 grandes empresas produtoras e exportadores da região. Concluiu que a cadeia produtiva da manga envolve vários elos e empresas, como é possível observar na Figura 1. Ainda, realizou uma avaliação dos Índices de Desenvolvimento Sustentável (IDS)<sup>1</sup> das empresas em estudo, constatando que a dimensão econômica possuía o melhor desempenho e que as dimensões ambiental, social e político-institucional foram consideradas instáveis em termos de sustentabilidade. Assim, a avaliação conjunta dessas dimensões resultou em um IDS igual a 0,51, o que indica uma situação instável da fruticultura.

Com relação às características geoambientais, o Vale do Submédio São Francisco possui uma pluviosidade baixa e irregular, em torno de 750 mm ano<sup>-1</sup>; temperaturas altas e um balanço hídrico negativo em parte do ano. Além disso, é possível citar uma alta taxa de insolação e, conseqüentemente, baixa umidade relativa. Com relação ao solo, é proveniente de rochas cristalinas, rasos, pouco permeáveis, sujeitos à erosão e de razoável fertilidade natural (Embrapa, 2022).

---

<sup>1</sup> Índices de Desenvolvimento Sustentável (IDS) apresentam valores que vão de 0 (nenhum desenvolvimento humano) a 1 (desenvolvimento humano total), abordando temas ligados à emissão de gases de efeito estufa, poluição do ar e das águas, uso de agrotóxicos, queimadas, desflorestamento, além de informações sobre saneamento básico, entre outros.



**Figura 1. Cadeia produtiva de manga no Vale do São Francisco.**

Fonte: (Farias, 2014).

Para além da cultura de manga, a região é destaque na produção de uva, caracterizada também pela ampla utilização de agrotóxicos. Por isso, a Embrapa Semiárido desenvolveu um estudo que resultou em um boletim de pesquisa e desenvolvimento sobre a contaminação potencial dos corpos hídricos por agrotóxicos em áreas de produção de uva em Petrolina-PE. Como conclusão desse estudo, os pesquisadores identificaram que os produtos utilizados no manejo da videira oferecem alto potencial de contaminação das águas superficiais e um moderado potencial de contaminação das águas subterrâneas. Além disso, pontuaram que o solo da região facilita a lixiviação, o que deixa mais vulnerável os recursos hídricos subterrâneos (Embrapa Semiárido *et al.*, 2017; Silva *et al.*, 2014).

Em 2002 foi implantado o Sistema de Produção Integrada de Manga, coordenado pela Embrapa Semiárido, com o objetivo de reduzir o uso de agrotóxicos na região do Submédio São Francisco. Essa ferramenta permitia o uso de agrotóxicos apenas quando observado níveis de pragas e doenças que pudessem refletir negativamente na produção agrícola e quando não fosse possível realizar o controle biológico dessas pragas (Silva-Matos *et al.*, 2014). As

principais pragas que atingem a cultura de manga irrigada no Vale do Submédio São Francisco são: mosca das frutas; tripes; mosca-da-panícula; ácaro; cochonilhas e broca-da-mangueira (Mouco *et al.*, 2011).

As plantas invasoras ou ervas daninhas são um dos maiores problemas da agricultura tropical, resultando em expressiva perda na produção agrícola em todo o mundo. Para o manejo dessas plantas, podem ser utilizadas estratégias preventivas e de controle, como é o caso de controle químico por meio do uso de herbicidas, que devem ser escolhidos levando em consideração a espécie da planta indesejável e o nível de infestação no ambiente (Embrapa *et al.*, 2010).

De acordo com a Embrapa *et al.* (2010), as principais doenças que ocorrem na produção de manga na região do Submédio São Francisco são: antracnose, que deve ser tratada com a aplicação de fungicidas e com práticas culturais que reduzam o nível de inóculo e as condições favoráveis à doença; oídio, conhecida também como cinza, que pode ser tratada com aplicação de fungicida à base de enxofre, antes da abertura das flores e início da frutificação; seca-da-mangueira, que pode levar à morte da planta, sendo a resistência genética a estratégia mais recomendada para conter a seca-da-mangueira, pois não há fungicida efetivo para este tratamento; morte descendente ou seca-de-ponteiros, que também é causada por um fungo, que para seu tratamento é sugerido os seguintes passos: realizar podas de limpeza após a colheita; proteger as áreas podadas; desinfetar ferramentas de poda; eliminar plantas mortas ou muito doentes; adubar e irrigar adequadamente o pomar; evitar o estresse hídrico ou nutricional prolongado; controlar insetos; utilizar fungicidas à base de cobre, Tiofanato metílico ou Carbendazim e Mancozeb.

Ainda segundo a Embrapa *et al.* (2010), tem-se também a doença de malformação floral e vegetativa, que é um dos mais sérios problemas fitossanitários da mangueira, sendo necessária algumas práticas de manejo para reduzir a ocorrência da doença que é causada por fungo, como é o caso da vistoria periódica do pomar e queimas das panículas e ramos retirados das plantas; mancha angular ou cancro bacteriano, que é uma doença bacteriana com baixa incidência na região semiárida, cujo tratamento envolve práticas culturais, como as já mencionadas para as demais doenças, e a aplicação de produtos à base de cobre.

Santos *et al.* (2009) divulgaram um estudo que avaliava a ação de diferentes grupos químicos de fungicidas no controle da antracnose em manga. Segundo os autores, dentre as doenças pós-colheita em manga, a antracnose tem grande importância em determinadas épocas do ano. O efeito dos fungicidas foi analisado por meio de teste *in vitro* no Laboratório de pós-colheita da Embrapa Semiárido e o isolado foi obtido de manga Tommy Atkins, infectada

naturalmente em um pomar em Petrolina - PE. Como conclusão do estudo, os pesquisadores afirmaram que os fungicidas pertencentes aos grupos químicos estrobilina (Azoxystrobin e Trifloxistrobina e Tebuconazole) e inorgânicos (Enxofre e Hidróxido de Cobre) foram os mais eficientes em inibir o crescimento micelial do fungo.

Silva-Matos *et al.* (2014) realizaram um estudo na região do Submédio São Francisco comparando dados de antes e depois da aplicação do Sistema de Produção Integrada de Manga, constatando a redução do uso de agrotóxicos, atendendo ao mercado consumidor de frutas, que está cada vez mais exigente. Carneiro *et al.* (2018) avaliaram os impactos potenciais de 1 kg de manga produzida em sistema convencional de manga (monocultivo) no Vale do São Francisco, por meio da metodologia de Análise de Ciclo de Vida (ACV). Como conclusão, a avaliação de impactos mostrou que a maior parte das categorias de impactos identificadas estão associadas ao uso de fertilizantes nitrogenados e à irrigação.

A região do Vale do São Francisco recebeu investimentos em pesquisa para a aplicação de projetos de irrigação, o que favorece o cultivo da manga, mas requer uma alta pegada hídrica. Além disso, as condições climáticas e do solo da região são favoráveis para o aparecimento de pragas e ervas daninhas que podem danificar as plantações. Por isso, a utilização de agrotóxicos é fator determinante para assegurar a produtividade agrícola. Porém, o uso desses agrotóxicos é responsável pela contaminação dos compartimentos ambientais. Desse modo, é possível perceber que a irrigação e o uso dos agrotóxicos são os maiores responsáveis pelo sucesso na cultura de manga da região, mas que estão associados a problemas ambientais (Ferracini *et al.*, 2001; Silva *et al.*, 2012).

### **3.2. Agrotóxicos**

Uma das principais atividades modificadoras do meio ambiente e que, por isso, requer a atenção na busca pela sustentabilidade é a agricultura. Na agricultura, é importante manter a produção agrícola, reduzindo os impactos ambientais e sociais da atividade. É nesse contexto de destaque na produção mundial de alimentos que o Brasil também é um dos maiores consumidores mundiais de agrotóxicos, o que está associado ao modelo agropecuário adotado no país (Barreto, 2018; Fritz; Schöggel; Baumgartner, 2017; Lopes; Albuquerque, 2018) e que, na última década, expandiu em 190% o mercado de agrotóxicos (Lopes; Albuquerque, 2018)

Esse uso intensivo de agrotóxicos na produção de alimentos tem gerado preocupação no âmbito ambiental e de saúde pública, embora possua importância no aspecto econômico, pois favorece o controle de pragas que poderiam comprometer o rendimento agrícola. Com isso, é

possível perceber que o setor agrícola brasileiro ainda não alcançou o desenvolvimento sustentável no uso dos agrotóxicos, impactando negativamente o meio ambiente, por meio da contaminação dos compartimentos (solo, ar e água) e a sociedade (Barreto *et al.*, 2020; Vale *et al.*, 2019), tendo em vista que a população não alcança os direitos que são previstos na Constituição Federal brasileira de 1988, que afirma que todos têm direito ao meio ambiente equilibrado e também à saúde (Brasil, 1988).

A Lei nº 7.802 de 11 de julho de 1989, conhecida como “Lei dos Agrotóxicos”, além de ser a responsável por dispor sobre todos os aspectos que envolvem desde a fabricação até o descarte das embalagens de agrotóxicos no Brasil, também apresenta um conceito de “agrotóxicos” (Brasil, 1989, p. 1):

- a) os produtos e os agentes de processos físicos, químicos ou biológicos, destinados ao uso nos setores de produção, no armazenamento e beneficiamento de produtos agrícolas, nas pastagens, na proteção de florestas, nativas ou implantadas, e de outros ecossistemas e também de ambientes urbanos, hídricos e industriais, cuja finalidade seja alterar a composição da flora ou da fauna, a fim de preservá-las da ação danosa de seres vivos considerados nocivos; b) substâncias e produtos, empregados como desfolhantes, dessecantes, estimuladores e inibidores de crescimento.

Muitos inseticidas foram elaborados com a finalidade de serem utilizados como arma química na primeira guerra mundial. No período após a segunda guerra mundial, ocorreu o desenvolvimento da agricultura e a necessidade da produção de alimento em grande escala para atender a população mundial que crescia exponencialmente. Então, houve um período chamado de “Revolução Verde” em todo o mundo, inclusive no Brasil na década de 1960. Nesse momento da história, a legislação brasileira ainda não se preocupava com os impactos negativos provenientes do uso dos agrotóxicos (Karandish, 2019; Lopes; Albuquerque, 2018; Lucchese, 2005).

De acordo com o boletim anual de produção, importação, exportação e vendas de agrotóxicos no Brasil do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA, 2021), os dez ingredientes ativos mais vendidos no Brasil foram, em ordem decrescente na posição do ranking: Glifosato; 2,4-D; Mancozebe; Atrazina; Acefato; Clorotalonil; Malationa; Enxofre; Imidacloprido e Clorpirifós.

Os agrotóxicos são classificados quanto ao modo de uso como agrotóxicos agrícolas, que são aqueles utilizados nas lavouras e afins; agrotóxicos de uso doméstico, utilizados para fins de controle de insetos e outros animais nocivos à saúde; agrotóxicos de uso em saúde pública, que são utilizados em campanhas de saúde pública e controle de endemias; e raticidas, aqueles utilizados para o controle de roedores (CIATOX, 2022).

A seleção do agrotóxico a ser utilizado na cultura deve considerar diversos parâmetros e riscos, podendo citar: utilizar produtos registrados pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento; utilizar produto que tenha eficiência para a praga que se deseja controlar na cultura; conhecer a forma como age o princípio ativo, em especial a sua toxicidade; conhecer o mecanismo de ação dos produtos; e conhecer bem os ciclos da cultura, para que o tratamento seja efetivo (Embrapa *et al.*, 2010). Podem ser inseticidas, acaricidas, fungicidas, nematicidas, herbicidas, dependendo da praga que se deseja combater e podem ainda ser reguladores de crescimento, dentre outros.

A avaliação ambiental para o registro de agrotóxicos, seus componentes e afins de uso agrícola é realizada pelo IBAMA. Essa avaliação baseia-se em testes e estudos laboratoriais e atividades de campo. Os produtos podem ser classificados como Classe I (altamente perigoso ao meio ambiente); Classe II (muito perigoso ao meio ambiente); Classe III (perigoso ao meio ambiente) e Classe IV (pouco perigoso ao meio ambiente) (IBAMA, 2022).

Em 2019 foi publicado o Novo Marco Regulatório dos Agrotóxicos pela Anvisa (RDC nº 294, de 29 de julho de 2019), trazendo uma nova classificação dos agrotóxicos conforme a toxicologia. Na classificação antiga, os agrotóxicos eram separados em 4 classes: Classe I – extremamente tóxica (faixa vermelha); Classe II – altamente tóxica (faixa amarela); Classe III – Medianamente tóxica (faixa azul); Classe IV – Pouco tóxica (faixa verde). No novo marco, a classificação é feita em categorias de 1 a 5 e uma categoria para aqueles produtos que não são classificados (ANVISA, 2019a; CIATOX, 2022; Larangote, 2020), conforme Figura 2.

	<b>CATEGORIA 1</b> EXTREMAMENTE TÓXICO	<b>CATEGORIA 2</b> ALTAMENTE TÓXICO	<b>CATEGORIA 3</b> MODERADAMENTE TÓXICO	<b>CATEGORIA 4</b> POUCO TÓXICO	<b>CATEGORIA 5</b> IMPROVÁVEL DE CAUSAR DANO AGUDO	<b>NÃO CLASSIFICADO</b> NÃO CLASSIFICADO
<b>PICTOGRAMA</b>					Sem símbolo	Sem símbolo
<b>PALAVRA DE ADVERTÊNCIA</b>	PERIGO	PERIGO	PERIGO	CUIDADO	CUIDADO	Sem advertência
<b>CLASSE DE PERIGO</b>						
<b>ORAL</b>	Fatal se ingerido.	Fatal se ingerido.	Tóxico se ingerido.	Nocivo se ingerido.	Pode ser perigoso se ingerido.	-
<b>DINÂMICA</b>	Fatal em contato com a pele.	Fatal em contato com a pele.	Tóxico em contato com a pele.	Nocivo em contato com a pele.	Pode ser perigoso em contato com a pele.	-
<b>INALATÓRIO</b>	Fatal se inalado.	Fatal se inalado.	Tóxico se inalado.	Nocivo se inalado.	Pode ser perigoso se inalado.	-
<b>COR DA FAIXA</b>	Vermelho PMS Red 199 C	Vermelho PMS Red 199 C	Amarelo PMS Yellow C	Azul PMS Blue 293 C	Azul PMS Blue 293 C	Verde PMS Green 347 C

**Figura 2. Nova classificação toxicológica dos agrotóxicos no Brasil.**

Fonte: (IDAF, 2019)

O Vale do Submédio São Francisco é uma região com elevado consumo de agrotóxicos na produção de frutas e hortaliças. Os municípios de maior destino dos agrotóxicos utilizados na região são Petrolina, Santa Maria da Boa Vista e Lagoa Grande, em Pernambuco, e Juazeiro e Casa Nova, na Bahia. Esses municípios fazem parte da RIDE Petrolina/Juazeiro e são importantes na fruticultura irrigada brasileira (Silva, 2022).

De acordo com o dossiê da ABRASCO (2012), foram levantados 108 diferentes agrotóxicos comercializados na região, os quais foram classificados, conforme apresentado na Figura 3. Além disso, o dossiê identificou os ingredientes ativos mais utilizados no Vale do Submédio São Francisco: Abamectina, Metamidofós, Parationa-metflica, Cimoxanil, Difenconazol, Famoxadona, Lambda-clialotrina, Azoxistrobina, Paclobutrazol, Fenarimol, Carbosulfano, Tebuconazol e Cianamida. Já de acordo com Silva (2022), o Glifosato foi o princípio ativo mais utilizado, o que segue o padrão nacional. Além disso, a maior parte dos agrotóxicos utilizados tem classificação toxicológica na categoria 4 (pouco tóxico) e classificação ambiental II (muito perigoso).

Diversos estudos já apontam o potencial de intoxicação associado ao uso do herbicida Glifosato, podendo causar interferência no sistema endócrino humano, câncer e outros problemas de saúde. Ainda, devido a esses fatores, esse herbicida é proibido em diversos países, como é o caso dos EUA, mas é amplamente utilizado no Brasil (Siqueira; Bressiani, 2023).

Caracterização	Classificação	Quant.
Classe de agrotóxicos	Inseticida	56%
	Fungicidas	30%
	Herbicidas	7%
	Reguladores de Crescimento	4%
	Acaricidas	2%
	Formicidas	1%
Grupo químico	Organofosforados	25%
	Piretróide	9%
	Benzimidazol	6%
	Triazol	6%
	Neocotinóides	5%
	Outros	49%
Classificação toxicológica	Extremamente tóxico	18%
	Altamente tóxico	25%
	Medianamente tóxico	38%
	Pouco tóxico	19%
Classificação Ambiental	Altamente perigoso	9%
	Muito perigoso	44%
	perigoso	30%
	Pouco perigoso	3%
	Sem classificação	14%

**Figura 3. Classificação dos agrotóxicos comercializados na região do Submédio São Francisco.**  
Fonte: (ABRASCO, 2012)

Para avaliar o comportamento dos agrotóxicos no solo é importante acompanhar três processos: retenção ou sorção, transporte e transformação. Estes processos dependem das características físico-químicas do produto ativo e das condições ambientais. O transporte do produto no solo ocorre pela ação do vento, da precipitação ou irrigação. Esse transporte do agrotóxico no solo está associado à contaminação dos corpos hídricos, visto que podem atingir as águas superficiais e subterrâneas por meio do escoamento superficial e da lixiviação, além do processo de deriva e precipitação (Embrapa Semiárido *et al.*, 2017; Silva; Campos; Bohm, 2013; Steffen; Steffen; Antonioli, 2011). O potencial de perda dos agrotóxicos pela água superficial ou subterrânea depende das misturas de agrotóxicos que sejam realizadas, do solo da região, clima e fatores de manejo (Ferracini *et al.*, 2001; Goss, 1992).

As propriedades que mais influenciam quando se avalia a contaminação da água são solubilidade em água, coeficientes de partição ou sorção, pressão de vapor, tempo de meia-vida, coeficiente de partição n-octanol-água, constantes de ionização ácido ou base, constante da lei de Henry e as condições climáticas (Silva *et al.*, 2014). Segundo Goss (1992), essas propriedades, que são únicas dos agrotóxicos, interagem com o solo, com a matéria orgânica contida no solo, com o potencial de erosão e com as propriedades hidráulicas. Avaliando essas propriedades é possível compreender o comportamento do agrotóxico no meio ambiente.

Assim, é importante que se realize uma avaliação do potencial de contaminação dos agrotóxicos aplicados em uma cultura, a fim de entender os riscos associados ao seu uso, conforme propõe o índice de GUS (Gustafson, 1989), para avaliar o potencial de contaminação de águas subterrâneas por agrotóxicos e o método de Goss, para avaliar potencial de contaminação de águas superficiais por agrotóxicos (Goss, 1992). Nessas avaliações são consideradas as propriedades do agrotóxico, como: solubilidade em água, meia-vida no solo e a constante de adsorção à matéria orgânica do solo. No entanto, vale pontuar que ambos os métodos não consideram as condições ambientais, constituindo-se de uma estimativa do risco de contaminação ambiental (Embrapa Semiárido *et al.*, 2017).

### 3.2.1. Legislação Ambiental

A Constituição Federal de 1988 inovou, em seu artigo 225, ao afirmar que todos têm direito ao meio ambiente equilibrado e em seus artigos 23 e 24, que determinam a competência de legislar e fiscalizar todos os aspectos relacionados aos agrotóxicos (BRASIL, 1988). Os agrotóxicos são, ao mesmo tempo, insumos agrícolas importantes para o país e produtos

perigosos que precisam de constante acompanhamento e de uma legislação do Estado que oriente o seu uso (De Moraes, 2019).

Assim, no ano seguinte foi publicada a Lei nº 7.802 de 11 de julho de 1989, que é a responsável por dispor sobre todos os aspectos relacionados aos agrotóxicos no Brasil (BRASIL, 1989). Até hoje, essa lei sofre modificações por decretos, projetos de Leis e portarias, e o Brasil ainda incentiva o uso dos agrotóxicos por meio de políticas públicas (De Moraes, 2019).

Atualmente, a regulação dos agrotóxicos é realizada de forma tripartite, envolvendo órgãos federais da área de saúde, meio ambiente e agricultura. No setor de saúde, o Ministério da Saúde (MS), por meio da Anvisa, analisa os testes toxicológicos; no setor ambiental o Ministério do Meio Ambiente, através do IBAMA, avalia os estudos de impacto ambiental e o MAPA é responsável pela avaliação da eficiência e necessidade agrônômica do produto (Cardozo, 2022; Cavalcante, 2022).

No entanto, foi aprovado pela câmara dos deputados o Projeto de Lei (PL) 6299/2002, conhecido como “PL do veneno”, que prevê mudanças que podem facilitar a expansão do uso dos agrotóxicos e, conseqüentemente, dos seus efeitos negativos em território brasileiro. O projeto de lei segue aguardando a aprovação do Senado Federal, causando grande preocupação de cientistas e da população em geral. Esse projeto de lei deseja alterar os Artigos 3º e 9º da Lei dos agrotóxicos, que dispõem sobre pesquisa, experimentação, produção, registro, classificação, controle, inspeção e fiscalização dos agrotóxicos, seus derivados e afins (Cardozo, 2022; Cavalcante, 2022). Dentre outros aspectos, o projeto pretende acabar com a estrutura tripartite, a padronização do uso dos termos “defensivo agrícola” ou “agroquímico” ao invés de agrotóxicos, com o objetivo de suavizar o tema.

O cenário atual do Brasil é preocupante, visto que é líder no uso dos agrotóxicos e que há substâncias que foram banidas em boa parte do mundo e que são permitidas no Brasil, como é o caso da Atrazina. Além disso, há fragilidade na fiscalização no uso dessas substâncias e na aplicação da Legislação Ambiental vigente (De Moraes, 2019; Lopes; Albuquerque, 2018). A pandemia de Covid-19 se apresentou como um momento de enfraquecimento das políticas ambientais, pois o contexto emergencial propiciou autonomia política da presidência e favoreceu a liberação de novos registros de agrotóxicos no Brasil (Teles, 2022).

### 3.2.2. Impactos do uso dos agrotóxicos

O uso intensivo e indiscriminado de agrotóxicos causa impactos no meio ambiente e na saúde. No meio ambiente os impactos são vários, incluindo contaminação da água, do solo, do ar, das plantas, modificação do número de organismos vivos em um habitat e aumento da resistência das pragas em lavouras (De Moraes, 2019).

No Brasil, uma grande preocupação relacionada ao uso dos agrotóxicos é a segurança alimentar. Com base no último relatório do Programa de Análise de Resíduos de Agrotóxicos em Alimentos (PARA) da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa), a laranja, o pimentão e a goiaba foram os principais alimentos com agrotóxicos acima do limite (ANVISA, 2019b). Além da questão alimentar, a presença dos agrotóxicos nos mananciais de abastecimento de água pode trazer dificuldades no tratamento da água e colocar em risco a saúde da população (Silva; Campos; Bohm, 2013).

Uma revisão sistemática realizada por Lopes e Albuquerque (2018), em que foram analisados 184 artigos científicos que abordavam o tema agrotóxico e eram provenientes de estudos que foram realizados no Brasil no período de 2011 a 2017, apontou que os artigos científicos evidenciam os prejuízos que os agrotóxicos causam ao meio ambiente. Ainda, de acordo com a revisão, os agrotóxicos podem contaminar os corpos hídricos, interferindo nos organismos aquáticos. Outro ponto importante que foi discutido é que substâncias que já foram banidas há anos do Brasil foram identificadas em amostras de águas de poços e mananciais, demonstrando a persistência desses compostos nos compartimentos ambientais. Ainda, de acordo com ABRASCO (2012), as características do solo da região do Vale do São Francisco propiciam a lixiviação dos agrotóxicos, o que pode favorecer a contaminação das águas subterrâneas.

A transferência das moléculas dos agrotóxicos do ambiente terrestre (solo) para o ambiente aquático é uma dinâmica constante em áreas de produção agrícola, visto que os agrotóxicos, em geral, possuem baixa adesão ao solo. Essas moléculas são encontradas mais frequentemente em ambientes aquáticos, com destaque para os corpos hídricos superficiais, devido ao fenômeno de escoamento superficial (Rad; Ray; Barghi, 2022). Dependendo das propriedades dos resíduos de agrotóxicos, podem se ligar ao material particulado em suspensão no ambiente aquático, se depositar no sedimento ou ser absorvido pelos organismos. Assim, invertebrados e peixes podem acumular grandes concentrações de agrotóxicos e, por isso, já são utilizados como organismos indicadores no monitoramento ambiental dos corpos hídricos (Silva; Campos; Bohm, 2013).

A Figura 4 é proveniente de um estudo que verificou a correlação entre a produção agrícola e o consumo de agrotóxicos no Brasil e que verificou a influência do uso dos

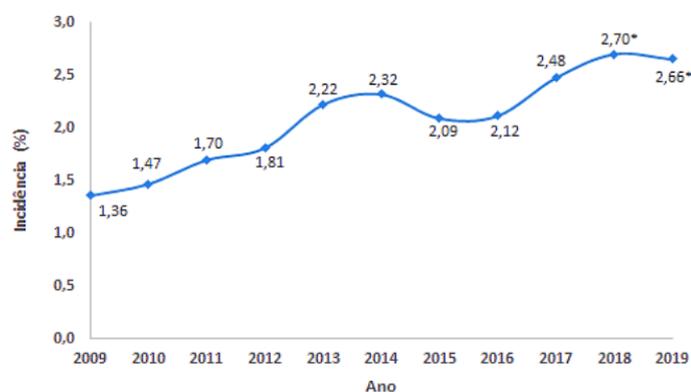
agrotóxicos na ocorrência de casos e de óbitos por intoxicações, demonstrando que é possível identificar uma forte correlação entre a produção agrícola e o consumo de agrotóxicos. De modo que é observado um aumento significativo da quantidade de produtos classificados como extremamente tóxicos nos anos de 2016 a 2019. Os autores pontuaram ainda que no ano de 2019, dos 109 produtos liberados e que são classificados como extremamente tóxicos, 40 são banidos da União Europeia. Ainda, quando avaliada a incidência de casos (Figura 5), foi possível concluir que o aumento da incidência é acompanhado pelo aumento da aprovação de novos registros de agrotóxicos. Ou seja, no Brasil há uma correlação entre o aumento da liberação para a comercialização de novos produtos com o aumento do número de casos de intoxicação. O estudo pontuou ainda que pode ocorrer uma subnotificação dos casos de óbito por agrotóxicos e que se faz necessário novos estudos sobre o tema (Ribeiro *et al.*, 2022).



\*diferença significativa em relação aos anos do período 2009 a 2015.  
\*\*diferença significativa em relação a todos os anos do período de avaliação.

**Figura 4. Total de Agrotóxicos liberados e de agrotóxicos extremamente tóxicos no Brasil, no período 2009 e 2019.**

Fonte: (Ribeiro *et al.*, 2022).



\*diferença significativa em relação a todos os anos do período de avaliação.

**Figura 5. Coeficientes de incidência de intoxicação por agrotóxicos no Brasil no período de 2009 a 2019.**

Fonte: (Ribeiro *et al.*, 2022).

As principais vias de exposição à contaminação por agrotóxicos são: inalatória, cutânea, ocular e oral. As ocorrências de intoxicações exógenas por agrotóxicos ocorrem principalmente nas circunstâncias de exposição ocupacional, tentativa de autoextermínio e acidentes individuais. Deste modo, as principais vítimas dessas intoxicações são os trabalhadores rurais, detetizadores, agente de endemias e outros trabalhadores que tenham contato direto com esses produtos. Essa contaminação ocorre por diversos motivos, como a falta de conhecimento técnico ou uso incorreto dos equipamentos de proteção individual. No entanto, toda a população do país está exposta à contaminação por agrotóxicos, devido ao consumo de água e alimentos que podem estar contaminados. Assim, podem desenvolver uma série de doenças e complicações em curto, médio ou a longo prazo (CIATOX, 2022; Ministério da Saúde, 2018).

No Brasil, para além dos trabalhadores rurais, temos outros grupos mais vulneráveis às exposições, como é o caso de comunidades próximas a lavouras que realizem pulverização aérea em comunidades ribeirinhas e tradicionais que usem a água dos rios para consumo e pesca de subsistência (CIATOX, 2022). Os impactos na saúde humana vão desde náuseas, dores de cabeça e irritações de pele, até casos mais graves, que resultam em problemas crônicos como a diabetes e o câncer (De Moraes, 2019).

A utilização dos agrotóxicos nas lavouras sempre trará impactos ambientais negativos ao meio ambiente, a água superficial e subterrânea e à saúde humana. Embora não se possa eliminar completamente os danos, é possível minimizá-los e, para isso, deve-se assumir uma postura responsável em busca de alternativas sustentáveis. Dentre as abordagens mais sustentáveis que são possíveis de serem aplicadas na agricultura, podem ser citadas o manejo integrado de pragas, utilizando cultivares mais resistentes e reduzindo a demanda de uso de agrotóxicos; a agricultura orgânica, que prioriza a utilização de métodos naturais para o controle de pragas e doenças; a proteção de áreas sensíveis, como áreas de preservação ambiental no entorno de corpos hídricos; investimento em pesquisa e inovação, incorporando métodos de manejo eficientes, o que também reduzirá o uso de agrotóxicos nas lavouras (Barreto, 2018; Borsoi *et al.*, 2014; Ribeiro *et al.*, 2022).

### **3.3. Mistura de agrotóxicos**

Os agricultores costumam utilizar uma mistura de diferentes agrotóxicos em suas culturas em busca de um resultado mais eficiente no controle das pragas e doenças. Parte desses agrotóxicos utilizados na cultura pode escoar ou lixiviar, contaminando os recursos hídricos. Por isso, a situação mais típica ao analisar a água de corpos hídricos superficiais e subterrâneos

é encontrar substâncias de diferentes concentrações e diferentes níveis de toxicidade (Finizio; Villa; Vighi, 2005; Hernández; Gil; Lacasaña, 2017; Petter *et al.*, 2012).

A instrução normativa nº 40 de 11 de outubro de 2018 (BRASIL, 2018), complementou as regras sobre a emissão da receita agrônômica previstas no Decreto nº 4.074 de 04 de janeiro de 2002, destacando a atribuição ao Engenheiro Agrônomo em sugerir as misturas a serem utilizadas na cultura. A mistura de agrotóxicos ainda é um tema polêmico, pois foi utilizada durante décadas pelos agricultores sem que pudessem ser recomendadas pelos técnicos (Embrapa Soja *et al.*, 2021).

As infestações das plantas daninhas, pragas e doenças não acontecem de forma isolada em uma mesma área agrícola, sendo comum combater todas elas ao mesmo tempo. Nessa situação, a alternativa de controle mais viável é a pulverização de mistura de agrotóxicos em tanque. Essa mistura é definida como a associação do produto no tanque do equipamento responsável pela aplicação imediatamente antes de realizar a pulverização (EMBRAPA Soja *et al.*, 2021; Gazziero, 2015).

Segundo a Embrapa Soja *et al.* (2021), as justificativas para usar misturas de agrotóxicos também tem como base a economia da água no preparo, de combustível e horas de trabalho, prevenção e manejo de ervas daninhas resistentes, causa menor compactação do solo, proporcionando maior controle de pragas e eficácia quando comparada à aplicação de um único agrotóxico. A mistura dos agrotóxicos já é uma realidade há anos na cultura e uma prática considerada fundamental para o manejo fitossanitário. Afirma ainda que há necessidade de intensificar os estudos e pesquisas sobre a mistura de múltiplos produtos, pois faltam informações disponíveis para os agricultores.

Quando recomendadas as misturas, muitas combinações são possíveis e é necessário ter informações técnicas para avaliá-las. No entanto, considerando que de 100 ingredientes ativos, faz-se a mistura com 3, seriam possíveis 161.700 combinações diferentes (Bressan, 2019). Nas formulações das misturas, o ingrediente ativo é o principal componente, que, em conjunto com outros componentes, constituem a formulação do produto. Junto ao ingrediente ativo é possível encontrar solventes, dispersantes, emulsificantes e outros. Assim, uma mistura pode apresentar compatibilidade ou incompatibilidade. Uma mistura incompatível apresenta propriedades físicas ou químicas indesejadas, tornando o produto ineficiente e resultando em perda financeira e de produtividade (Embrapa *et al.*, 2021).

Os produtores rurais costumam elaborar a mistura de agrotóxicos com diferentes tipos de herbicidas, combinando herbicidas com inseticidas e outras classes de agrotóxicos. Essas misturas favorecem o aumento do espectro de ação da substância, reduz o número de aplicações

necessárias e apresentam um bom retorno econômico. Todavia, de acordo com o estudo realizado por Petter *et al.* (2012), a mistura pode interagir e até mesmo produzir efeitos desconhecidos pela toxicologia. Assim, identificar as características centrais das misturas de agrotóxicos em nível molecular é uma boa oportunidade para avaliar as interações que podem dar origem às respostas imprevisíveis (Gazziero, 2015; Hernández; Gil; Lacasaña, 2017).

A exposição humana à mistura de agrotóxicos é um cenário realista que implica diversos fatores de risco para a ocorrência de diferentes patologias, incluindo câncer e doenças degenerativas. Essa exposição se dá pela alimentação, pelo contato com o meio ambiente contaminado e no ambiente profissional, no caso de trabalhadores rurais (Hernández; Gil; Lacasaña, 2017). Partindo dessa situação-problema, e da preocupação com o efeito da interação das misturas de agrotóxicos, Finizio, Villa e Vighi (2005) desenvolveram uma metodologia para definir uma lista de prioridades para a escolha dessa mistura, considerando a toxicidade em algas, dáfnias e peixes.

Dizer que a mistura de agrotóxicos interage, significa que alguns (ou todos) os componentes individuais da mistura estão influenciando a toxicidade uns dos outros. As interações entre os compostos podem ser físicas (associadas aos componentes inertes dos agrotóxicos) ou químicas (relacionadas à molécula dos agrotóxicos) (Petter *et al.*, 2012). Segundo Barroso *et al.* (2022), os riscos associados às misturas estão relacionados principalmente com à incompatibilidade física e química das substâncias e da falta de conhecimento sobre as interações sinérgicas, antagônicas e aditivas que podem ocorrer entre os compostos.

Há uma grande dificuldade em conhecer todos os mecanismos de toxicidade de todas as misturas de agrotóxicos, visto que existe um grande número de combinações possíveis de agrotóxicos e estes possuem diferentes compostos químicos, padrões de exposição e interação. Ademais, a toxicidade de muitos componentes ainda é pouco conhecida (Hernández; Gil; Lacasaña, 2017; Petter *et al.*, 2012; Verbruggen; Van den Brink, 2010).

Existem dois modelos que são aplicados para avaliar a toxicidade da mistura de agrotóxicos: o de Ação Independente (AI) e o de Adição de Concentração (AC) (Verbruggen; Van den Brink, 2010). A AI assume que os agrotóxicos que compõem a mistura se comportam independentemente uns dos outros e apresentam diferentes modos de ação, por ocorrer em diferentes sítios de ligação, porém apresentam os mesmos efeitos toxicológicos, prevista com base em estatística de probabilidade simples. Já a AC assume que a magnitude da resposta biológica da mistura de agrotóxicos pode ser prevista pela soma das concentrações. O modelo de AC é mais utilizado porque representa melhor os efeitos combinados e é mais apropriado

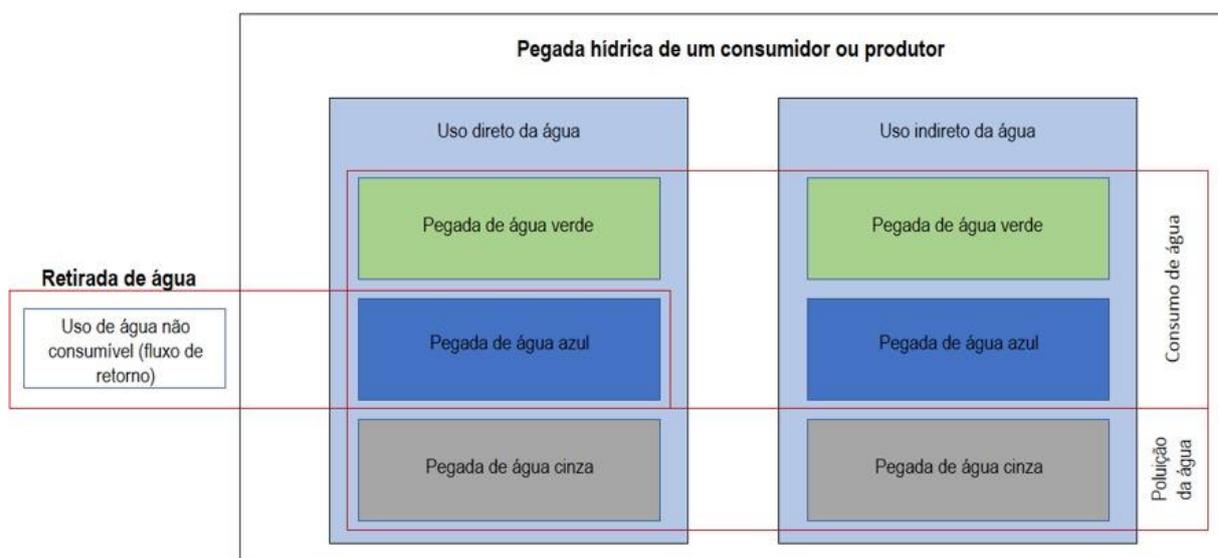
para a análise do risco da realização das misturas quando os componentes compartilham o mesmo mecanismo de ação (Cedergreen *et al.*, 2008; Hernández; Gil; Iacasaña, 2017; Lydy *et al.*, 2004).

Ainda, de acordo com Verbruggen e Van den Brink (2010), os efeitos combinados que sejam menos tóxicos do que a ação independente, são considerados antagônicos e os efeitos mais tóxicos do que a adição de concentração, são sinérgicos.

### 3.4. Pegada Hídrica

A pegada hídrica é um indicador de uso da água que considera seus usos múltiplos. Desse modo, a pegada hídrica de determinado produto pode ser definida como toda a água utilizada nos processos que levaram até a sua produção. A pegada hídrica é classificada em três tipos: água azul, que se refere à água retirada dos rios e lagoas (águas superficiais e subterrâneas); água verde, que se trata das águas pluviais armazenadas no solo; e água cinza, que é o volume de água contaminada resultante de determinado processo (Figura 6) (Hoekstra *et al.*, 2013).

Avaliar a pegada hídrica pode auxiliar os gestores a definir o preço do produto com base também no consumo de água utilizada no processo, o que pode favorecer a definição de ações para reduzir o consumo de água e, conseqüentemente, uma economia financeira para o processo (Deepa *et al.*, 2022). Além disso, pode ajudar os produtores rurais a escolher tecnologias de produção mais sustentáveis (Dias, 2016).



**Figura 6. Componentes de uma pegada hídrica.**

Fonte: (Hoekstra *et al.*, 2013).

Dias *et al.* (2018) avaliaram a pegada hídrica da produção de manga em quatro sistemas alternativos, com adubação verde entrelinhas de mangueiras, localizados no Vale do São Francisco. Foram analisados dois tipos de adubos verdes (coquetel vegetal e vegetação espontânea). A metodologia aplicada foi a Análise de Ciclo de Vida (ACV) para avaliar os potenciais impactos ambientais do produto em relação à água. Por meio do estudo, os pesquisadores identificaram que sistemas conservacionistas de produção, compostos por vegetação espontânea, foram os sistemas com maior pegada hídrica e que os coquetéis vegetais podem ser benéficos para a produção sustentável da manga.

#### 3.4.1. Pegada Hídrica Cinza

A pegada hídrica cinza foi introduzida com o objetivo de ser uma expressão da poluição da água resultante de determinado processo ou atividade em termos de volume poluído. Ou seja, é um indicador do grau de poluição da água que busca expressar a quantidade de água doce que seria necessária para diluir a carga de contaminante (Hoekstra *et al.*, 2013).

A agricultura, por demandar muita água doce e pela grande utilização de agrotóxicos, deve se preocupar com a determinação da pegada hídrica cinza da mistura de agrotóxicos aplicada nas culturas. Nesse contexto, diversos estudos, no Brasil e no mundo, têm abordado o tema da pegada hídrica cinza na agricultura como uma importante ferramenta de gestão. Diversas culturas já foram avaliadas, como é o caso do arroz, manga, cana-de-açúcar, amendoim e, ainda, alguns estudos apresentam o cálculo da pegada hídrica cinza para todas as culturas de uma determinada região. A grande maioria dos trabalhos avalia a pegada hídrica cinza em relação ao uso de fertilizantes, com destaque para o nitrogênio, como nos estudos de Arunrat *et al.* (2022), Herath *et al.* (2013), Karandish (2019), Meng *et al.* (2022), Ribeiro (2014) e Shi *et al.* (2020).

De acordo com Ariyani *et al.* (2022), em decorrência da carga poluente ser baixa e os registros de dados inadequados, os agrotóxicos não costumavam ser considerados na estimativa da pegada hídrica cinza. No entanto, recentemente, estudos realizam a avaliação da pegada hídrica cinza de múltiplos poluentes (agrotóxicos e fertilizantes), como é o caso de Ariyani *et al.* (2022), Deepa *et al.* (2022), Roudbari *et al.* (2023) e Scarpore *et al.* (2023). Outros trabalhos já realizam o cálculo da pegada hídrica cinza apenas para a carga contaminante decorrente da aplicação dos agrotóxicos, como os de Barreto *et al.* (2020) e Vale *et al.* (2019).

O estudo de Scarpore *et al.* (2023), realizado na cultura de cana-de-açúcar em São Paulo, traz uma relevante discussão sobre o coeficiente de lixiviação-escoamento que é utilizado no cálculo da pegada hídrica cinza das culturas. Os autores realizaram experimentos e compararam os coeficientes obtidos experimentalmente com os métodos da literatura, concluindo que as frações recomendadas pelos métodos, tanto para nitrato quanto para herbicidas, não estão dentro da realidade da cultura de cana-de-açúcar brasileira, visto que superestimam as frações de escoamento e lixiviação. Ainda, segundo os autores, as conclusões do estudo são relevantes para o local e para áreas de cultivo de cana-de-açúcar semelhantes no centro-sul do Brasil.

Ariyani *et al.* (2022) aplicaram o modelo de Paraíba *et al.* (2014) para avaliar o impacto da aplicação dos agrotóxicos na pegada hídrica do chá indonésio. Como conclusão do estudo, os autores afirmaram que para garantir sustentabilidade hídrica deve-se reduzir a pegada hídrica cinza na utilização de substâncias menos tóxicas e inseticidas com menor tempo de meia-vida. Barreto *et al.* (2020) realizaram um estudo em Pernambuco, na cidade de Igarassu, em que aplicou os modelos de Hoekstra *et al.* (2011) e de Paraíba *et al.* (2014) em uma cultura de cana-de-açúcar com o objetivo de estimar a pegada hídrica cinza da mistura de agrotóxicos. O estudo concluiu que ambos são adequados para o cálculo, mas o modelo de Paraíba *et al.* (2014) é mais conservador do meio ambiente por considerar também a toxicidade em organismos aquáticos indicadores. Além disso, concluiu que o ranking de agrotóxicos é uma boa ferramenta para auxiliar o produtor agrícola na escolha das misturas a serem aplicadas em sua cultura. Vale *et al.* (2019) também realizaram um estudo semelhante, em área próxima, utilizando apenas o modelo de Paraíba *et al.* (2014). De acordo com o autor, a pegada hídrica cinza calculada pode ser utilizada como um indicador de qualidade dos recursos hídricos e utilizada na orientação de políticas públicas.

Ribeiro (2014) realizou um estudo na região do Vale Submédio São Francisco em que analisou a implementação de ferramentas da pegada hídrica e da água virtual na gestão do uso da água na cultura de manga na região. De acordo com a autora, visto que a região semiárida possui chuvas escassas, prevalecendo a prática da agricultura irrigada, o consumo de água azul (águas superficiais) foi maior que o da água verde (água da chuva). A pegada hídrica cinza, analisada em relação ao nitrogênio, é a que apresentou a menor contribuição ao valor total, sendo apenas 1%. Para Dias (2016), a melhoria do desempenho ambiental do sistema de produção de manga na região do Vale do São Francisco depende da redução no consumo de fertilizantes e do consumo de água.

### 3.4.2. Modelos para estimativa da pegada hídrica cinza da mistura de agrotóxicos

Existem alguns modelos para o cálculo da pegada hídrica cinza, dentre eles, o mais usual é o de Hoekstra *et al.* (2011), que busca expressar a qualidade da água. Na aplicação deste modelo, o Volume de Água Cinza (VAC) é calculado pela Equação 1, dividindo a carga de poluente ( $L$ ) pela diferença entre a concentração máxima permitida do poluente ( $C_{\text{máx}}$ ) e a concentração natural do poluente ( $C_{\text{nat}}$ ), que é considerada zero, pois não se espera encontrar moléculas xenobióticas naturalmente no solo.

Para fontes difusas de poluição da água, como é o caso da aplicação de agrotóxicos em uma cultura, faz-se importante considerar que a carga do poluente será a fração de concentração total aplicada que irá atingir a água. Logo, deve-se assumir que parte do poluente irá lixiviar e escoar, por meio do uso da fração lixiviação-escoamento ( $\alpha_H$ ). Assim, a carga poluente pode ser encontrada pela multiplicação entre a fração lixiviação-escoamento e a carga do poluente aplicada na área (Equação 2).

$$VAC = \frac{L}{(C_{\text{max}} - C_{\text{nat}})} \quad (1)$$

$$L = \alpha_H A_{pl} \quad (2)$$

O ideal é que o  $\alpha_H$  seja definido utilizando dados locais, mas caso não seja possível, deve-se utilizar a literatura. A  $C_{\text{nat}}$  para substâncias que não ocorrem naturalmente no ambiente deve ser considerada zero;  $C_{\text{max}}$  deve ser definida através de consulta da legislação vigente e a carga de poluente aplicada ( $A_{pl}$ ) deve ser obtida pelo relatório da cultura em estudo (Franke; Boyacioglu; Hoekstra, 2013).

O modelo de Hoekstra *et al.* (2011) não expressa a concentração da mistura de agrotóxicos na água e depende dos limites máximos de concentração dos agrotóxicos permitidos nos corpos hídricos, que são definidos pelas agências governamentais. Tendo em vista essa limitação do modelo usual, Paraíba *et al.* (2014) inovaram ao propor um modelo para estimar o volume de água necessário para diluir a carga contaminante das misturas de agrotóxicos na água até níveis aceitáveis. O modelo de Paraíba *et al.* (2014) assume o conceito de adição de concentração (AC) para prever a concentração de poluente que atingirá a água, considerando o efeito tóxico do poluente. Assim, a estimativa da pegada hídrica cinza por este

modelo não depende das concentrações estabelecidas pelo governo, mas sim da concentração que causa efeito em organismos aquáticos indicadores.

O estudo de Paraíba *et al.* (2014) teve como objetivo estimar o VAC necessário para diluir os principais herbicidas utilizados na cultura de cana-de-açúcar no Brasil. Com base em seus resultados, estabeleceu um ranking dos agrotóxicos que compõe a mistura de herbicidas e sugeriu que esse ranking poderia ser utilizado para criar um rótulo a ser colocado na embalagem dos produtos, buscando orientar os agricultores em relação ao VAC por hectare associado ao uso do produto escolhido na cultura. Ainda, esse modelo assume que os agrotóxicos são compostos orgânicos com funções definidas e efeitos tóxicos conhecidos sobre organismos indicadores da qualidade da água. Aliás, considera que a degradação do agrotóxico ocorre por meio de uma cinética de primeira ordem e um processo de sorção linear.

O modelo de concentração de adição é mais complexo e dado por:

$$\sum_{i=1}^n \frac{PEC_i}{PNEC_i} = 1 \quad (3)$$

Em que  $n$  é o número de agrotóxicos utilizados na mistura,  $PEC$  ( $\text{kg m}^{-3}$ ) é a concentração de agrotóxicos prevista na água do ambiente,  $PNEC$  ( $\text{kg m}^{-3}$ ) é a concentração de efeito não previsto, ou seja, a concentração ambiental abaixo da qual não se preveem efeitos inaceitáveis.

Para calcular a concentração de agrotóxicos prevista na água ( $PEC$ ), é utilizada a Equação 4.

$$PEC = \frac{M}{VAC_{MA}} \quad (4)$$

Em que  $M$  é a massa de agrotóxicos na água e  $VAC_{MA}$  é o Volume de Água Cinza da mistura. A massa de agrotóxicos é obtida pela Equação 5.

$$M = \sum_{i=1}^n \alpha_p^i A_c^i A_d^i + (1 - \alpha_p^i) A_c^i A_d^i A_f^i \quad (5)$$

Em que  $\alpha_p$  é a fração de pesticida que sofre escoamento,  $A_c$  (ha) é a área cultivada por ano,  $A_d$  ( $\text{kg m}^{-3}$ ) é a dose de agrotóxico aplicada por hectare e  $A_f$  é o fator de atenuação do pesticida da superfície do solo para a água subterrânea (adimensional). Para encontrar o valor de  $A_f$ , que deve variar entre 0 e 1, utiliza-se a Equação 6.

$$A_F = e^{\left(-\frac{kzR_f\theta_{CC}}{J_w}\right)} \quad (6)$$

Na qual  $k$  ( $\text{dia}^{-1}$ ) é a taxa de degradação do agrotóxico, dada em função do tempo de meia-vida do agrotóxico,  $z$  (m) é a profundidade do solo,  $R_f$  é adimensional e se refere ao fator de retardo do agrotóxico, que representa o retardo da lixiviação do agrotóxico em relação ao fluxo de água no solo (Paraíba *et al.*, 2014),  $\theta_{CC}$  ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ) é a umidade volumétrica na capacidade de campo, que deve ser obtida em laboratório, e  $J_w$  ( $\text{m dia}^{-1}$ ) é a recarga diária de água na área de estudo.

Para calcular o fator de retardo do agrotóxico, utiliza-se a Equação 7.

$$R_f = 1 + \frac{\rho_s f_{oc} K_{oc}}{\theta_{CC}} + \frac{\varepsilon_a K_H}{\theta_{CC}} \quad (7)$$

Em que  $\rho_s$  ( $\text{kg m}^{-3}$ ) é a densidade do solo,  $f_{oc}$  se refere ao teor volumétrico do carbono orgânico no solo,  $K_{oc}$  ( $\text{m}^3 \text{kg}^{-1}$ ) é o coeficiente de partição de carbono orgânico,  $\varepsilon_a$  ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ) é a porosidade do solo na condição de preenchida com ar,  $K_H$  é a constante da lei de Henry e  $\theta_{CC}$  ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ) é a umidade volumétrica na capacidade de campo.

Já a  $PNEC_i$  pode ser calculada utilizando a Equação 8 (Finizio; Villa; Vighi, 2005):

$$PNEC_i = \frac{10^{-3}}{Asf} \min \left\{ EC50_{[Algas, d\acute{a}fnias, peixes]}^i \right\} \quad (8)$$

Na qual  $EC50$  ( $\text{mg L}^{-1}$ ) é a concentração em que a substância provoca efeito adverso em 50% dos indivíduos observados e  $Asf$  é o fator de segurança que é aplicado ao valor de  $EC50$ . O valor do fator de segurança depende dos dados ecotoxicológicos disponíveis e visa minimizar as incertezas envolvidas na determinação dos dados de toxicidade dos organismos indicadores, variando entre 10 e 10.000 (Paraíba *et al.*, 2014). Para o caso de estar disponível dados de pelo menos um ensaio de toxicidade de curta duração para três níveis tróficos diferentes (algas, daphnias e peixes) deve ser utilizado o fator de segurança como 1000 (ECHA, 2008)

Fazendo as devidas substituições no modelo de Adição de concentração (AC) (Equação 3), obtém-se a Equação 9 para o cálculo do volume de água cinza da mistura de agrotóxicos ( $VAC_{MA}$ ).

$$VAC_{MA} = \sum_{i=1}^n \left[ \frac{\alpha_p^i A_c^i A_d^i + (1 - \alpha_p^i) A_c^i A_d^i A_f^i}{PNEC^i} \right] \quad (9)$$

Por fim, é estimada a posição relativa de cada agrotóxico nas misturas através do Ranking de Agrotóxicos (Equação 10). Esse ranking tem como objetivo apresentar os agrotóxicos mais impactantes das misturas que são aplicadas na cultura. É utilizado os  $VAC_i$  ( $m^3$ ) de cada agrotóxico, dividido pela área de aplicação do agrotóxico  $A_c$  (ha), de modo a obter o volume de água cinza de cada agrotóxico por hectare ( $VAC_i^{ha}$ ):

$$r_i = \log(VAC_i^{ha}) \quad (10)$$

## REFERÊNCIAS

ABRASCO. **Dossiê ABRASCO - Um alerta sobre os impactos dos agrotóxicos na Saúde. Parte 2 - Agrotóxicos, saúde, ambiente e sustentabilidade.** 2012. Disponível em: <[www.aicoculturas.com](http://www.aicoculturas.com)>.

ANVISA. **Resolução da diretoria colegiada - RDC nº 294, de 29 de julho de 2019.** Brasil. Diário Oficial da União, 29 jul. 2019a. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/web/dou/-/>>

ANVISA. **Programa de Análise de Resíduos de Agrotóxicos em Alimentos: Relatório de Amostras Analisadas no período de 2017-2019.** Brasília: 2019b. Disponível em: <<https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/agrotoxicos/programa-de-analise-de-residuos-em-alimentos/arquivos/3770json-file-1>>. Acesso em: 9 maio. 2022b.

ARAÚJO, W. B. C.; CAMPOS, R. T.; CAMPOS, K. C. Análise da cadeia produtiva da manga em Petrolina. **Revista de Política Agrícola**, v. 4, p. 122–133, 2018.

ARIYANI, M. *et al.* Water Footprint Analysis of Indonesian Tea: Exploring the Impact of Pesticides on the Grey Water Footprint. **Environment Asia**, v. 15, n. 1, p. 47–59, 1 jan. 2022.

ARUNRAT, N. *et al.* Carbon, Nitrogen and Water Footprints of Organic Rice and Conventional Rice Production over 4 Years of Cultivation: A Case Study in the Lower North of Thailand. **Agronomy**, v. 12, n. 2, 1 fev. 2022.

BARRETO, M. **Estimativa do volume de água cinza de misturas de pesticidas utilizadas na cana-de-açúcar em um Argissolo Amarelo.** Dissertação (Programa de pós-graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares) - Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2018.

BARRETO, M. L.P. *et al.* Gray water footprint assessment for pesticide mixtures applied to a sugarcane crop in Brazil: A comparison between two models. **Journal of Cleaner Production**, v. 276, p. 124254, 2020.

BARROSO, G. M. *et al.* Expansion of Planted Forests: The Risk of Pesticides Mixtures. **Forests**, v. 13, n. 1, 1 jan. 2022.

BORSOI, A. *et al.* Agrotóxicos: histórico, atualidades e meio ambiente. **Acta Iguazu**, v. 3, n. 1, p. 86–100, 2014.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, Brasil. Presidência da República, 5 out. 1988. Disponível em: <[www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constituicao.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm)>. Acesso em: 12 maio. 2022.

BRASIL. **Lei nº 7.802, de 11 de Julho de 1989**. Brasília, Brasil. Presidência da República, 11 jul. 1989. Disponível em: <[www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l7802.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l7802.htm)>. Acesso em: 21 mar. 2022.

BRESSAN, M. **Misturas em tanque: aspectos legais**. Curitiba: Congresso Brasileiro de Fitossanidade, 7 ago. 2019.

CARDOZO, A. M. **Brasil, o país dos agrotóxicos? Uma análise da controvérsia em torno do PL 6299/02 entre 2018 e 2019**. Trabalho de Conclusão de Curso—Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2022.

CARNEIRO, J. M. *et al.* **Avaliação do ciclo de vida da manga brasileira**. Anais do VI Congresso Brasileiro Sobre Gestão do Ciclo de Vida. **Anais...**Brasília: VI Congresso Brasileiro Sobre Gestão do Ciclo de Vida, jun. 2018.

CAVALCANTE, I. L. P. **Agrotóxicos: contexto, aplicabilidade e toxicidade dos ingredientes ativos mais utilizados no Brasil**. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)—Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2022.

CEDERGREEN, N. *et al.* A review of independent action compared to concentration addition as reference models for mixtures of compounds with different molecular target sites. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 27, n. 7, p. 1621, 2008.

CIATOX. **Boletim informativo de toxicologia - Agrotóxicos**. Goiás: CIATOX. Disponível em: <<https://www.saude.go.gov.br/files/boletins/informativos/CIATox/boletimciatox-03-22.pdf>>. Acesso em: 31 maio. 2023.

DEEPA, R. *et al.* Potential Environmental Impacts of Peanut Using Water Footprint Assessment: A Case Study in Georgia. **Agronomy**, v. 12, n. 4, 1 abr. 2022.

DE MORAES, R. F. **Agrotóxicos no Brasil: Padrões de uso, política da regulação e prevenção da captura regulatória - 2506**. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA, 2019.

DIAS, A. F. **Pegadas de carbono e hídrica da manga em sistemas conservacionistas de produção**. Dissertação—Fortaleza: Universidade Estadual do Ceará, 2016.

DIAS, A. F. *et al.* **Pegada hídrica da manga em sistemas alternativos de produção.** Anais do VI Congresso Brasileiro Sobre Gestão do Ciclo de Vida. **Anais...**Brasília: VI Congresso Brasileiro Sobre Gestão do Ciclo de Vida, jun. 2018.

ECHA. **Guidance on information requirements and chemical safety assessment Chapter R.10: Characterisation of dose [concentration]-response for environment.** ECHA, 2008. Disponível em: <[http://echa.europa.eu/reach\\_en.asp](http://echa.europa.eu/reach_en.asp)>.

EMBRAPA *et al.* **A cultura da Manga.** 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2006. v. Coleção Plantar, 53

EMBRAPA *et al.* **Cultivo da mangueira.** Embrapa Semiárido, 2010. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/884451/1/CultivodaMangueira.pdf>>. Acesso em: 30 abr. 2023.

EMBRAPA. **A região do vale do Rio São Francisco.** Disponível em: <[https://www.cnpma.embrapa.br/projetos/prod\\_int/regiaosf.html](https://www.cnpma.embrapa.br/projetos/prod_int/regiaosf.html)>. Acesso em: 31 mar. 2022.

EMBRAPA SEMIÁRIDO *et al.* **Contaminação Potencial dos Corpos Hídricos por Agrotóxicos em Áreas de Produção de Uva.** Petrolina: Embrapa Semiárido, 2017. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/197942/1/BPD133.pdf>>. Acesso em: 4 maio. 2023.

EMBRAPA SOJA *et al.* **Manual técnico para subsidiar a mistura em tanque de agrotóxicos e afins.** Londrina: 2021. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/228162/1/DOCUMENTOS-437-1.pdf>>. Acesso em: 4 maio. 2023.

FARIAS, A. S. D. DE. **Contribuições de eco-inovações para a sustentabilidade da fruticultura de manga da região submédio São Francisco.** Dissertação—Campina Grande: Universidade Federal de Campina Grande, 2014.

FERRACINI, V. *et al.* Análise de risco de contaminação das águas subterrâneas e superficiais da região de Petrolina (PE) e Juazeiro (BA). **Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, n. 11, p. 1–16, 2001.

FERREIRA, C. B. **Análise da produtividade agrícola no Vale do São Francisco: um estudo diante da escassez de recursos hídricos.** Tese de Doutorado—Piracicaba: Universidade de São Paulo, 2022.

FINIZIO, A.; VILLA, S.; VIGHI, M. Predicting pesticide mixtures load in surface waters from a given crop. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 111, n. 1–4, p. 111–118, dez. 2005.

FRANKE, N. A.; BOYACIOGLU, H.; HOEKSTRA, A. Y. **Grey Water Footprint Accounting: Tier 1 Supporting Guidelines.** UNESCO-IHE Institute for Water Education. Delft, The Netherlands: Unesco-Ihe, 2013.

FRITZ, M. M. C.; SCHÖGGL, J. P.; BAUMGARTNER, R. J. Selected sustainability aspects for supply chain data exchange: Towards a supply chain-wide sustainability assessment. **Journal of Cleaner Production**, v. 141, p. 587–607, 10 jan. 2017.

GAZZIERO, D. L. P.; **Regulamentação das misturas em tanque de agrotóxicos**. VII Congresso brasileiro de soja - Mercosoja 2015. **Anais...VII Congresso brasileiro de soja - Mercosoja 2015**, 2015.

GAZZOLA, R. *et al.* Produção e mercado internacional de manga. **Revista Brasileira de Agrotecnologia**, v. 10, n. 3, p. 81-87, 2020.

GOSS, D. W. Screening Procedure for Soils and Pesticides for Potential Water Quality Impacts. **Weed Technology**, v. 6, n. 3, p. 701–708, set. 1992.

GUSTAFSON, D. I. Groundwater Ubiquity Score: A simple method for assessing pesticide leachability. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 8, p. 339–357, 1989.

HERATH, I. *et al.* Water footprinting of agricultural products: A hydrological assessment for the water footprint of New Zealand's wines. **Journal of Cleaner Production**, v. 41, p. 232–243, 2013.

HERNÁNDEZ, A. F.; GIL, F.; LACASAÑA, M. Toxicological interactions of pesticide mixtures: an update. **Archives of Toxicology**, v. 91, n. 10, p. 3211–3223, 1 out. 2017.

HOEKSTRA, A. Y. *et al.* Water footprint manual: State of the art 2009. **Water footprint network, enschede, the Netherlands**, v. 255, 2009.

HOEKSTRA, A. Y. *et al.* **The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard**. Londres/Washington, earthscan, 223 p., 2011.

HOEKSTRA, A. Y. *et al.* Manual de avaliação da pegada hídrica: estabelecendo o padrão global. **São Paulo: Instituto de Conservação Ambiental**, 2013.

IBAMA. **Relatório de comercialização de agrotóxicos**. 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/quimicos-e-biologicos/agrotoxicos/relatorios-de-comercializacao-de-agrotoxicos>> Acesso em: 31 maio. 2023.

IBAMA. **Avaliação ambiental para registro de agrotóxicos, seus componentes e afins de uso agrícola**. Disponível em: <<https://www.gov.br/ibama/pt-br/servicos/avaliacao-e-destinacao/quimicos-e-biologicos/avaliacao-ambiental-para-registro-de-agrotoxicos-seus-componentes-e-afins-de-uso-agricola>>. Acesso em: 31 maio. 2023.

IDAF. **Novo marco regulatório dos agrotóxicos**. Disponível em: <<https://idaf.es.gov.br/novo-marco-regulatorio-dos-agrotoxicos#:~:text=A%20Anvisa%20divulgou%20recentemente%20novas,toxicol%C3%B3gica%20dos%20produtos%20no%20Brasil.>>. Acesso em: 30 abr. 2023.

KARANDISH, F. Applying grey water footprint assessment to achieve environmental sustainability within a nation under intensive agriculture: a high-resolution assessment for

common agrochemicals and crops. **Environmental Earth Sciences**, v. 78, n. 6, p. 200, 8 mar. 2019.

LARANGOTE, G. P. **Novo marco regulatório de classificação dos agrotóxicos no Brasil: padrão internacional GHS**. Trabalho de Conclusão de Curso—Anápolis, Goiás: Centro Universitário de Anápolis - UniEVANGÉLICA, 2020.

LIMA, J. R. F. DE; ALMEIDA, G. V. B. DE; ARAÚJO, J. L. P. **Mercado de Manga: Tendências e desafios para o Vale do São Francisco**. XXVI Congresso Brasileiro de Fruticultura. **Anais...**Juazeiro: XXVI Congresso Brasileiro de Fruticultura, 2019.

LIMA, R. J. DE; SOUSA, E. P. DE. Desenvolvimento rural dos municípios da Região Integrada Petrolina (Pe)-Juazeiro (BA). **Ciências Econômicas**, v. XIV, n. 23, p. 1–18, 2017.

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

LUCCHESI, G. **Agrotóxicos - Construção da Legislação**. Brasília: Câmara dos deputados, 2005.

LYDY, M. *et al.* Challenges in Regulating Pesticide Mixtures. **Ecology and Society**, v. 9, n. 6, p. 1–15, 2004.

MENG, X. *et al.* Quantification and Evaluation of Grey Water Footprint in Yantai. **Water**, v. 14, n. 12, 1 jun. 2022.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Relatório Nacional de Vigilância em Saúde de Populações Expostas a Agrotóxicos**. Brasília: Ministério da Saúde, 2018. Disponível em: <<http://portalsaude.saude.gov.br/index.>>.

MOUCO, M. A. DO C. *et al.* Manejo da Cultura da Manga. 2011. 190–233.

PARAÍBA, L. C. *et al.* A mathematical model to estimate the volume of grey water of pesticide mixtures. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v. 12, n. 2, p. 509, 1 abr. 2014.

PETTER, F. A. *et al.* Incompatibilidade física de misturas entre herbicidas e inseticidas. **Planta Daninha**, v. 30, n. 2, p. 449–457, 2012.

QUEIROZ, A. F. DE. **Caracterização e classificação de solos do município de Casa Nova - BA para fins de uso, manejo e conservação**. Dissertação—Mossoró: Universidade Federal Rural do Semiárido, 2013.

RAD, S. M.; RAY, A. K.; BARGHI, S. Water Pollution and Agriculture Pesticide. **Clean Technologies**, v. 4, n. 4, p. 1088–1102, 20 out. 2022.

RIBEIRO, C. S. **Pegada hídrica e água virtual: estudo de caso da manga no Submédio do Vale do São Francisco, Brasil**. Dissertação—Salvador: Universidade Federal da Bahia, 2014.

RIBEIRO, L. A. D. O. *et al.* Panorama sobre o uso de agrotóxicos no Brasil (2009-2019): Riscos, benefícios e alternativas. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, n. 10, p. 189–203, 2022.

ROUDBARI, M. V. *et al.* A multi-pollutant pilot study to evaluate the grey water footprint of irrigated paddy rice. **Agricultural Water Management**, v. 282, 31 maio 2023.

SANTOS, S. F. DOS *et al.* **Avaliação de Fungicidas no Controle de Antracnose em Manga**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2009.

SCARPARE, F. V. *et al.* Leaching Runoff Fraction for Nitrate and Herbicides on Sugarcane Fields: Implications for Grey Water Footprint. **Sustainability**, v. 15, n. 8, p. 6990, 21 abr. 2023.

SHI, C. *et al.* Research on the decoupling of water resources utilization and agricultural economic development in gansu province from the perspective of water footprint. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 17, n. 16, p. 1–16, 2 ago. 2020.

SILVA, B. L. F. **Levantamento do uso de agrotóxicos no Vale do São Francisco**. Trabalho de Conclusão de Curso—Petrolina: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, 2022.

SILVA, M. R. DA; CAMPOS, A. C. E. DE; BOHM, F. Z. Agrotóxicos e seus impactos sobre ecossistemas aquáticos e continentais. **Revista de Saúde e Biologia**, v. 8, n. 2, p. 46–58, 2013.

SILVA, G. DE S. *et al.* **Avaliação do potencial contaminação das águas superficiais e subterrânea por agrotóxicos em áreas de produção de uva para exportação no Vale do São Francisco**. XII SIBESA. **Anais...**Natal: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES, maio 2014.

SILVA, J. *et al.* Heavy metals in soils and plants in mango orchards in Petrolina, Pernambuco, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1343–1353, 2012.

SILVA-MATOS, R. R. S. DA *et al.* Racionalização do uso de agrotóxicos na produção integrada de manga no Submédio do Vale do São Francisco. **Biosciense Journal**, v. 30, n. 2, p. 372–379, abr. 2014.

STEFFEN, K.; STEFFEN, R. B.; ANTONIOLLI, Z. I. Contaminação do solo e da água pelo uso de agrotóxicos. **TECNO-LÓGICA**, v. 15, n. 1, p. 15–21, 30 jun. 2011.

TELES, N. L. C. **A pandemia como oportunidade para ampliar a flexibilidade da Legislação Ambiental: o caso da liberação de (mais) agrotóxicos no Brasil**. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)—Belém, PA: Universidade Federal Rural da Amazônia, 2022.

TOMITA, R.; BEYRUTH, Z. Toxicologia de agrotóxicos em ambiente aquático. **Biológico**, v. 64, n. 2, p. 135–142, 2002.

VALE, R. L. *et al.* Assessment of the gray water footprint of the pesticide mixture in a soil cultivated with sugarcane in the northern area of the State of Pernambuco, Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 234, p. 925–932, 2019.

VERBRUGGEN, E. M. J.; VAN DEN BRINK, | P J. **Review of recent literature concerning mixture toxicity of pesticides to aquatic organisms**. Bilthoven, the Netherlands: 2010. Disponível em: <[www.rivm.nl](http://www.rivm.nl)>.

## PEGADA HÍDRICA CINZA DE AGROTÓXICOS APLICADOS À CULTURA DE MANGA TOMMY ATKINS NO VALE DO SUBMÉDIO SÃO FRANCISCO, BRASIL

### GRAY WATER FOOTPRINT OF PESTICIDES APPLIED TO TOMMY ATKINS MANGO CULTURE IN THE SUB-MIDDLE SÃO FRANCISCO VALLEY, BRAZIL

#### RESUMO

O cultivo da mangueira é observado em todas as localidades, em especial na região do Vale do São Francisco no Nordeste do Brasil. Um dos principais cultivares da região é a manga Tommy Atkins. O sucesso do cultivo da manga no semiárido se deve ao diferencial de produzir o ano inteiro devido ao sistema de irrigação e o uso de reguladores de crescimento. No entanto, o uso intensivo de agrotóxicos na produção de alimentos tem gerado preocupação no contexto ambiental e de saúde pública. Ainda, a produção de manga na região gera uma elevada pegada hídrica. Os agrotóxicos aplicados podem atingir os corpos hídricos superficiais e subterrâneos, por meio do escoamento superficial e da lixiviação. Neste contexto, o objetivo geral do presente estudo foi estimar a pegada hídrica cinza da mistura de agrotóxicos aplicada na cultura de manga Tommy Atkins no Vale do Submédio São Francisco. Para alcançar este objetivo, foi realizada a caracterização do solo da parcela de cultivo, a avaliação potencial da contaminação dos corpos hídricos pelos agrotóxicos utilizando o Índice de GUS e o método de GOSS e a aplicação de dois modelos, o modelo de Hoekstra *et al.* (2011) e o de Paraíba *et al.* (2014) para estimar o Volume de Água Cinza (VAC) e elaborar um ranking de agrotóxicos. Os resultados apontaram que os princípios ativos aplicados na cultura podem ser considerados de baixo potencial de contaminação das águas subterrâneas por lixiviação e de baixo a médio risco de contaminar os corpos hídricos superficiais. O VAC da mistura de agrotóxicos foi da ordem de grandeza de  $10^6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  para o modelo de Hoekstra *et al.* (2011) e de  $10^7 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  para o de Paraíba *et al.* (2014). Podendo concluir que o modelo de Paraíba *et al.* (2014) é mais conservador do meio ambiente, por considerar a toxicidade para organismos não-alvo. Ademais, é possível concluir que a pegada hídrica cinza da mistura de agrotóxicos aplicada na cultura foi elevada em ambos os modelos. Não existem outros trabalhos na região que tenham realizado essa estimativa, de modo que os resultados encontrados podem ser uma ferramenta importante para a escolha de agrotóxicos menos poluentes a serem aplicados na cultura.

**Palavras-chave:** Pegada Hídrica Cinza; Agrotóxicos; Manga Tommy Atkins; Contaminação da água

#### ABSTRACT

Mango cultivation is especially observed in the São Francisco Valley region. One of the main cultivars in the region is the Tommy Atkins mango. The success of mango cultivation in the semi-arid region is due to the differential of year-round production due to the irrigation system and the use of pesticides, especially growth regulators to promote floral induction. However, the intensive use of pesticides in food production has raised concern in the environmental and public health context. Furthermore, mango production in the region generates a high water footprint. The applied pesticides can reach surface and underground water bodies, through surface runoff and leaching. In this context, the general objective of the present study was to

estimate the gray water footprint of the pesticide mixtures applied to the Tommy Atkins mango crop in the Sub-middle São Francisco Valley. To achieve this objective, the soil characterization of the crop plot was carried out, the potential assessment of contamination of water bodies by pesticides using the GUS Index and the GOSS method and the application of two models, the model by Hoekstra *et al.* (2011) and by Paraíba *et al.* (2014) to estimate the Gray Water Volume (GWF) and elaborate a ranking of pesticides, classifying them in order according to the GWF they generate. The results showed that the active principles applied to the crop can be considered of low potential for contamination of groundwater by leaching and low to medium risk of contaminating surface water bodies. The GWF of the pesticide mixture was in the order of magnitude of 106 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> for the model by Hoekstra *et al.* (2011) and 107 for Paraíba *et al.* (2014). So, the model of Paraíba *et al.* (2014) is more environmentally conservative, considering toxicity to non-target organisms. Furthermore, it is possible to conclude that the gray water footprint of pesticides mixtures applied to the crop was high in both models. There are no other works in the region that have carried out this estimate, so that the results found can be an important tool for choosing less polluting pesticides to be applied to the crop.

**Keywords:** Gray Water Footprint (GWF); Pesticides; Tommy Atkins mango; Water contamination

## INTRODUÇÃO

O Nordeste brasileiro é um grande produtor de manga, em especial a região do Vale do Submédio São Francisco. Essa região se destaca por possuir o diferencial de produzir manga o ano inteiro devido ao sistema de irrigação e ao manejo artificial da floração da manga, por meio do uso de reguladores de crescimento. A irrigação da região e o uso dos agrotóxicos para a produção da manga resulta em uma elevada pegada hídrica (Araújo; Campos; Campos, 2018; dias *et al.*, 2018; Embrapa *et al.*, 2006, 2010). Além disso, as condições climáticas e do solo da região são favoráveis para o aparecimento de pragas e ervas daninhas que podem danificar as plantações. Por isso, a utilização de agrotóxicos é fator determinante para assegurar a produtividade agrícola (Ferracini *et al.*, 2001; Silva *et al.*, 2012).

De acordo com Ferreira (2022), a manga Tommy Atkins é um dos principais cultivares de mangueira, atendendo tanto ao mercado interno quanto à exportação. A variedade Tommy Atkins está adaptada ao clima quente da região do Vale do Submédio São Francisco, apresenta maior resistência a pragas e doenças; maior durabilidade pós-colheita; regularidade na produção e resistência aos impactos mecânicos, o que é uma característica muito importante para a exportação, por se tornar menos perecível (Embrapa *et al.*, 2006, 2010; Mouco *et al.*, 2011).

O uso intensivo de agrotóxicos na produção de alimentos tem gerado preocupação no contexto ambiental e de saúde pública. Dentre os principais efeitos do uso dos agrotóxicos tem-se a contaminação do ar, do solo e da água, além de ser nocivo para organismos não alvo e

impactar negativamente a saúde humana (Barreto *et al.*, 2020; Lopes; Albuquerque, 2018; Vale *et al.*, 2019).

Ainda, no combate a doenças e pragas na lavoura, é comum o agricultor se utilizar da mistura de diferentes agrotóxicos, obtendo assim um resultado mais eficiente no controle das pragas e reduzindo o custo final da produção. No entanto, essa mistura pode ser mais tóxica devido à interação entre as diferentes substâncias e componentes ativos (Barreto, 2018; Hernández; Gil; Lacasaña, 2017; Paraíba *et al.*, 2014; Vale *et al.*, 2019).

Os agrotóxicos podem atingir os corpos hídricos (superficiais e subterrâneos) por meio do escoamento superficial e da lixiviação. Assim, é importante que se realize uma avaliação da contaminação potencial dos corpos hídricos por agrotóxicos, a fim de entender os riscos associados ao seu uso, conforme propõe o índice de GUS (Gustafson, 1989), para avaliar o potencial de contaminação de águas subterrâneas por agrotóxicos e o método de Goss, para avaliar o potencial de contaminação de águas superficiais por agrotóxicos (Goss, 1992;).

A produção da manga na região do Vale do São Francisco é responsável por uma elevada pegada hídrica, tanto pela irrigação quanto pelo uso de fertilizantes e agrotóxicos (Dias *et al.*, 2018; Ribeiro, 2014). A pegada hídrica é um indicador de uso da água que considera seus usos múltiplos e é classificada em três tipos: água azul, que se refere à água retirada dos rios e lagoas (águas superficiais e subterrâneas); água verde, que se trata das águas pluviais armazenadas no solo; e água cinza, que é o volume de água contaminada resultante de determinado processo. Neste contexto, uma boa alternativa para estimar o volume de água contaminada pela mistura dos agrotóxicos é a Pegada Hídrica Cinza, que foi introduzida a fim de expressar a poluição da água em termos de volume poluído (Barreto *et al.*, 2020; Hoekstra *et al.*, 2011; Paraíba *et al.*, 2014).

O cálculo da pegada hídrica cinza pode ser utilizado como um indicador de sustentabilidade agrícola e como um índice de poluição da água, buscando estimular uma melhor escolha da mistura de agrotóxicos utilizada na cultura e proteger os recursos hídricos.

Assim, o objetivo geral do presente estudo foi estimar a pegada hídrica cinza da mistura de agrotóxicos aplicada em um solo com cultivo de manga Tommy Atkins (*Mangifera Indica* L.), localizado na região do Vale do Submédio São Francisco, utilizando os modelos de Hoekstra *et al.* (2011) e de Paraíba *et al.* (2014) de modo comparativo.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Caracterização da área de estudo

A área de estudo está localizada nas coordenadas 9°23'28.43"S e 40°44'57.22"O, possui aproximadamente 4 hectares e foi reservada em uma fazenda onde é feito o cultivo de Manga Tommy Atkins (*Mangifera Indica* L.) para a exportação, localizada na cidade de Casa Nova, Bahia, pertencente à região do Vale do Submédio São Francisco. O município de Casa Nova – BA possui uma área aproximada de 9.647 km<sup>2</sup> e uma população de 64.940 habitantes (IBGE, 2023). A cidade faz parte do bioma caatinga e segue as características climáticas do semiárido: altas temperaturas, baixas precipitações, com períodos críticos de prolongadas estiagens, elevado índice de evapotranspiração e baixa capacidade de retenção de água. A agricultura é muito importante para a economia local do município e a manutenção dessa atividade, devido às condições climáticas do semiárido, depende do sistema de irrigação proveniente das águas do Rio São Francisco e da aplicação dos agrotóxicos para o controle de pragas e doenças (Ferracini *et al.*, 2001; Ferreira, 2022; IBGE, 2023; Queiroz, 2013).

O município de Casa Nova faz parte da Região Administrativa Integrada de Desenvolvimento (RIDE) do Polo Petrolina e Juazeiro (Figura 7), que é um polo de desenvolvimento tecnológico da fruticultura irrigada no Brasil, destacando-se pelo cultivo de oleráceas, principalmente cebola, melancia e melão e frutas como a manga e a uva. A RIDE do Polo Petrolina e Juazeiro contempla também as cidades de Sobradinho, Juazeiro e Curaça na Bahia e as cidades de Petrolina, Lagoa Grande, Santa Maria da Boa Vista e Orocó pertencentes ao território de Pernambuco (Lima; Sousa, 2017; Queiroz, 2013; Silva, 2022).

Na área reservada foram coletadas amostras deformadas e indeformadas do solo na parcela, que tem área equivalente a, aproximadamente, quatro hectares. Foram coletadas 15 amostras deformadas das camadas de 0 a 20 e 20 a 40 cm do solo, aleatoriamente, para formar uma amostra composta por camada, conforme recomendado por Figueiredo *et al.* (2013). Depois foram coletadas mais 5 amostras indeformadas nas mesmas camadas em anéis volumétricos de 50 cm<sup>3</sup> para posteriores análises físicas (FIGUEIREDO *et al.*, 2013).

As amostras foram devidamente armazenadas e encaminhadas aos laboratórios de Física e de Química do Solo da Universidade Federal Rural de Pernambuco. Com elas, foram realizadas análises físico-químicas do solo, resultando em uma caracterização do solo da área de estudo. Essa caracterização é necessária para a aplicação do modelo de Parafba *et al.* (2014) para a estimativa da pegada hídrica cinza.



**Figura 7. Mapa de localização da Cidade de Casa Nova – BA.**

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

As características físicas foram determinadas seguindo a metodologia da Embrapa (Teixeira *et al.*, 2017), foram elas: densidades do solo e dos sólidos; porosidade total; umidade volumétrica do solo e a granulometria, conforme também a padronização de métodos para a análise granulométrica no Brasil (Almeida *et al.*, 2012). A umidade na capacidade de campo foi obtida submetendo as amostras à tensão de 100 (cem centímetros de coluna d'água – cca), utilizando o funil de Haines (Haines, 1930).

Já as análises químicas consistiram nas determinações do pH em água e em KCl, do  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$  e  $\text{Al}^{3+}$  trocáveis, do P disponível, da acidez potencial (H+Al), que resultaram nos cálculos das capacidades de trocas catiônicas efetiva e potencial, das saturações por bases, alumínio e sódio e dos teores de carbono orgânico e matéria orgânica do solo (Teixeira *et al.*, 2017).

### **Avaliação da contaminação potencial dos corpos hídricos pelos agrotóxicos aplicados na cultura**

Os dados de aplicação dos produtos foram obtidos por meio de um relatório de aplicações das misturas de agrotóxicos na parcela de cultivo de manga, disponibilizado pelo responsável da área em estudo (ANEXO). Nesse relatório, que corresponde à todas as

aplicações realizadas no período de 2021 e 2022, estão descritos os agrotóxicos que foram utilizados nas misturas, a data de aplicação, a dosagem aplicada de cada agrotóxico que compõe as misturas e a etapa do cultivo em que foram aplicados. Outros dados necessários para o estudo foram obtidos na literatura, em especial na base de dados da International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC, 2023), do AGROFIT, que é o sistema de agrotóxicos fitossanitários do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2023) e dos resultados das análises físico-químicas do solo.

Com base nessas informações, foi possível avaliar o potencial de contaminação dos corpos hídricos (águas subterrâneas e superficiais) pelo índice GUS (Groundwater Ubiquity Score) (Gustafson, 1989) e pelo Método de Goss (Goss, 1992), para cada agrotóxico utilizado no período.

O Índice GUS os classifica de acordo com a tendência de lixiviação e expressa a vulnerabilidade das águas subterrâneas a contaminantes presentes nos locais. Esse índice é aplicado conforme Tabela 1 (Gustafson, 1989):

**Tabela 1. Determinação do Índice de GUS**

Equação	Classificação		
	NL	FT	PL
$GUS = \log(T_{1/2})(4 - \log K_{oc})$	< 1,8	1,8 < GUS < 2,8	> 2,8

$T_{1/2}$ : tempo de meia-vida (dias);  $K_{oc}$ : coeficiente de partição da fração orgânica do solo ( $L\ kg^{-1}$ ).

NL: não lixiviável; FT: faixa de transição; PL: provável lixiviação.

Fonte: Adaptado de Gustafson (1989).

O método de Goss (1992) expressa o risco potencial de contaminação das águas superficiais, classificando cada agrotóxico em alto, médio ou baixo risco de contaminação, associado ao sedimento e dissolvido em água.

A Tabela 2 apresenta os critérios utilizados para classificar os agrotóxicos pelo método. De acordo com a Embrapa *et al.* (2017), este método é uma importante ferramenta para definir quais programas de monitoramento ambiental devem ser priorizados na região do Vale do Submédio São Francisco.

Tabela 2. Critérios para classificação dos agrotóxicos de acordo com o Método de Goss

Transporte do agrotóxico	Potencial de contaminação		
	Alto	Baixo	Médio
Adsorvido ao sedimento	Se $T_{1/2} \geq 40$ e $K_{oc} \geq 1000$ ou Se $T_{1/2} \geq 40$ e $K_{oc} \geq 500$ e $S \leq 0,5$	Se $T_{1/2} \leq 1$ Ou Se $T_{1/2} \leq 2$ e $K_{oc} \leq 500$ Ou Se $T_{1/2} \leq 4$ e $K_{oc} \leq 900$ e $S \geq 0,5$ Ou Se $T_{1/2} \leq 40$ e $K_{oc} \leq 500$ e $S \geq 0,5$ Ou Se $T_{1/2} \leq 40$ e $K_{oc} \leq 900$ e $S \geq 2$	Demais casos
		Se $K_{oc} \geq 100000$ Ou Se $K_{oc} \geq 1000$ e $T_{1/2} \leq 1$ Ou Se $S < 0,5$ e $T_{1/2} < 35$	Demais casos
Dissolvido em água	Se $S \geq 1$ e $T_{1/2} > 35$ e $K_{oc} < 100000$ ou Se $S \geq 10$ e $S < 100$ e $K_{oc} \leq 700$		

$T_{1/2}$ : tempo de meia-vida;  $K_{oc}$ : coeficiente de partição da fração orgânica do solo;  $S$ : solubilidade.  
Fonte: Adaptado de Goss (1992).

### Modelos de avaliação da pegada hídrica cinza

Os modelos utilizados para a avaliação da pegada hídrica cinza da mistura de agrotóxicos foram os de Hoekstra *et al.* (2011) e de Paraíba *et al.* (2014), conforme descritos na Figura 8. A partir deste momento o modelo de Hoekstra *et al.* (2011) passará a ser nomeado como H-model e o de Paraíba *et al.* (2014) como P-model. A metodologia de aplicação de ambos os modelos está apresentada na Figura 8.

As concentrações máximas dos agrotóxicos permitidas em água potável, utilizadas na aplicação do modelo de Hoekstra *et al.* (2011), foram obtidas através de consultas à legislação brasileira: Resolução nº 357 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) de 2005, com atualizações pelas Resoluções nº 410/2009 e 430/2011; Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5/MS/GM de 28/09/2017 (antiga Portaria nº 2.914, de 12/2011, do Ministério da Saúde) e Resolução CONAMA Nº 396 de 03/04/2008. Também foi considerada a Legislação Europeia para a concentração máxima de cobre na água para abastecimento humano (IUPAC, 2023). Quando não encontrada a concentração máxima do agrotóxico em nenhuma das legislações citadas, foi considerado o padrão adotado pela União Europeia, que determina que

a concentração de nenhum agrotóxico pode ultrapassar  $0,1 \mu\text{g L}^{-1}$  na água (Ministério da Saúde, 2017).

Os coeficientes de escoamento dos agrotóxicos ( $\alpha$ , em  $\text{kg ano kg}^{-1} \text{ano}^{-1}$ ) foram estimados a partir dos dados de Paraíba *et al.* (2014) e através da interpolação de seus valores de  $K_{OC}$  em uma curva logística de quatro parâmetros, dada pela Equação 1:

$$\alpha_P = K_{OC\min} + \frac{(K_{OC\max} - K_{OC\min})}{1 + \left(\frac{K_{OC}}{PT50}\right)^{-Hillslope}} \quad (1)$$

em que  $K_{OC\max}$  e  $K_{OC\min}$  são os valores de  $K_{OC}$  máximo e mínimo disponíveis;  $PT50$  é o ponto de inflexão da curva, ou seja, o ponto da curva que está a meio caminho de max e min; e  $Hillslope$  é o parâmetro que está relacionado com a inclinação da curva no ponto  $PT50$ . Esses dados foram ajustados utilizando o programa Solver do Excel (MS 365).

Para a determinação da recarga diária de água ( $J_w$ ), foi realizado um balanço hídrico, em que  $P$  (mm) é a precipitação diária, cuja informação foi disponibilizada pela fazenda;  $I$  (mm) é a irrigação diária, estimada pelo cálculo da Lâmina Bruta de Irrigação (LBI), conforme a Equação 2, onde  $ET_0$  é a evapotranspiração de referência da cultura em  $\text{mm dia}^{-1}$ ,  $K_c$  é o coeficiente de cultura,  $T_i$  é o turno de irrigação em dia e  $Ef$  é a eficiência do sistema de irrigação, considerada como de 0,9 para microaspersor (Lima *et al.*, 2012).

$$LBI = \frac{ET_0 K_c T_i}{Ef} \quad (2)$$

A Evapotranspiração de referência foi obtida pela plataforma de dados agrometeorológicas da Embrapa Semiárido (Embrapa Semiárido, 2023). Os dados de Evapotranspiração Potencial ( $ET_0$ ) para os anos de 2021 e 2022 foram obtidos da Estação Salitre, localizada em Juazeiro, Bahia, nas coordenadas  $9^{\circ}30'0.00''\text{S}$  e  $40^{\circ}37'60.00''\text{O}$ , por ser a mais próxima da parcela. Os coeficientes de cultivo ( $K_c$ ) adotados foram os definidos por Teixeira *et al.* (2008) em um estudo sobre o cultivo de manga Tommy Atkins na região de Petrolina – PE (Tabela 3).

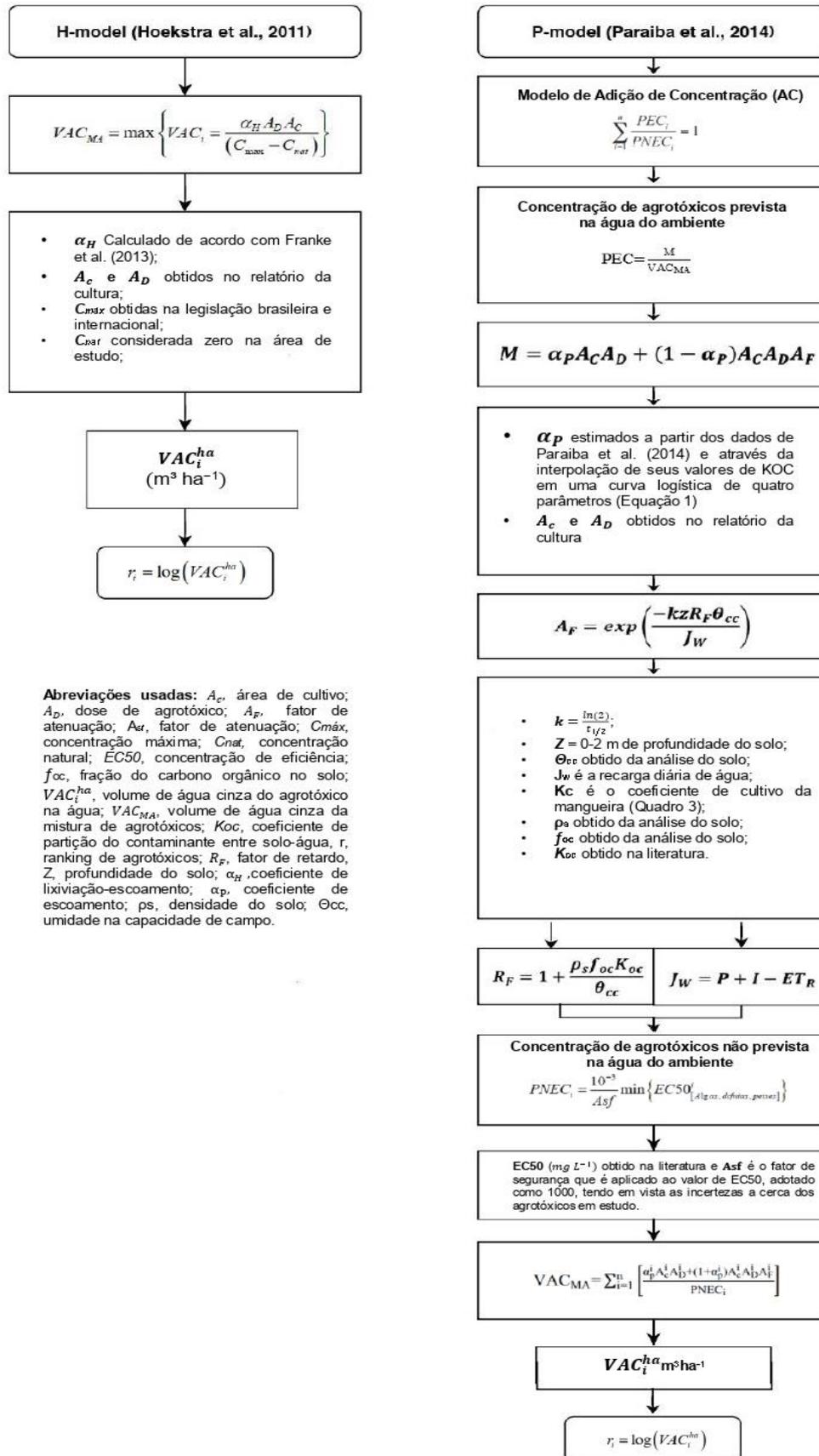


Figura 8. Modelos para a estimativa da Pegada Hídrica Cinza.

Fonte: Autora (2023).

**Tabela 3. Coeficientes de cultivo ( $K_c$ ) adotados para a manga Tommy Atkins**

<b>Fase da Cultura</b>	<b>Kc</b>
Repouso	0,7
Crescimento Vegetativo	0,8
Maturação de ramos	1
Indução Floral	1
Pré-floração	1
Floração plena	1
Fim da floração	0,9
Desenvolvimento do fruto	0,9
Maturação do fruto	0,8

Fonte: Adaptado de Teixeira *et al.* (2008).

Ainda, foi calculada a  $ET_r$ , que é a evapotranspiração real da cultura, pelo produto entre a evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ) e o coeficiente de cultivo ( $K_c$ ), como apresentado na Equação 3.

$$ET_r = ET_o \cdot K_c \quad (3)$$

Conforme se apresenta na Figura 8, após a obtenção dos volumes de água cinza da mistura de agrotóxicos ( $VAC_{MA}$ ), pelos H-model e P-model, calculou-se a posição relativa de cada agrotóxico nas misturas por meio do ranking de Agrotóxicos. Esse ranking tem como objetivo apresentar os agrotóxicos mais impactantes das misturas que são aplicadas na cultura.

Para cada método, separadamente, será utilizado os  $VAC_i$  ( $m^3$ ) de cada agrotóxico, dividido pela área de aplicação do agrotóxico  $A_c$  (ha), de modo a obter a pegada hídrica cinza de cada agrotóxico por hectare ( $VAC_i^{ha}$ ), dado pela Equação 4:

$$r_i = \log(VAC_i^{ha}) \quad (4)$$

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 4 apresenta os resultados da caracterização do solo da parcela de cultivo em estudo. De acordo com os resultados, é possível perceber que em ambas as camadas (0-20 e 20-40 cm) há predominância da composição granulométrica areia, sendo o solo classificado como areia franca. A relação silte e argila foi inferior a 0,7, o que indica alto grau de intemperismo do solo (SANTOS *et al.*, 2018). A densidade do solo ( $\rho_s$ ) foi de 1,26 g  $cm^{-3}$  na camada de 0-20 cm e de 2,00 g  $cm^{-3}$  na camada de 20-40 cm. Solos ou camadas mais arenosas apresentam

maiores valores de densidade do solo. Esse elevado valor da densidade do solo na camada de 20-40 cm demonstra que o solo está propenso ao processo de compactação (Queiroz et al., 2013; Santos, 2015).

**Tabela 4. Caracterização físico-química do solo da área em estudo**

Camada (cm)	Composição granulométrica (%)			Classe Textural	S/A	$\rho_s$	$D_p$	$P_t$	$\theta_{cc}$	CVA	pH			CE
	Areia	Silte	Argila								H <sub>2</sub> O	KCl	$\Delta pH$	
0-20	85,27	4,71	10,02	Areia Franca	0,47	1,26	2,49	49,58	24,55	14,34	7,7	7,05	-0,65	746,70
20-40	81,31	3,91	14,78		0,26	2,0	2,6	22,90	21,40	19,78	7,76	6,85	-0,91	604,90

Camada (cm)	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	SB	t	T	V	P	CO	MO
	cmolc kg <sup>-1</sup>									%	mg kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	
0-20	0,86	0,12	0,0054	0,0068	0	1,98	1	1	2,98	33,46	89,68	14,97	25,81
20-40	0,82	0,10	0,0056	0,008	0	2,48	0,94	0,94	3,41	27,45	55,05	8,95	15,43

S/A: relação silte/argila;  $\rho_s$ : densidade do solo;  $D_p$ : densidade de partículas;  $P_t$ : porosidade total;  $\theta_{cc}$ : umidade na capacidade de campo; CVA: conteúdo volumétrico de água; CE: condutividade elétrica; H+Al: Acidez Potencial; SB: Soma de Bases; t: Capacidade de troca de cátions efetiva; T: capacidade de troca de cátions total; V: Saturação por bases; P: fósforo disponível; CO: Carbono orgânico total; MO: Matéria orgânica.

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

A densidade de partículas ( $D_p$ ) foi de 2,49 e de 2,60 g cm<sup>-3</sup> nas camadas de 0-20 e 20-40 cm, respectivamente. Esses valores corroboram com os encontrados por Queiroz et al. (2013) ao realizar a caracterização e classificação de cinco classes de solos mais representativas do município de Casa Nova - BA, que variaram de 2,48 até 2,66 g cm<sup>-3</sup>. A Porosidade Total ( $P_t$ ) é baseada nas densidades do solo e de partículas e foi de 49,58% na camada 0-20 cm e de 22,90% na camada de 20-40 cm.

A umidade na capacidade de campo ( $\theta_{cc}$ ) é uma medida da quantidade máxima de água retida pelo solo e é um parâmetro importante para a aplicação do P-model. Foi determinada como de 24,55% para a camada 0-20 cm e de 21,40% para a camada 20-40 cm. Ainda, a determinação do Conteúdo Volumétrico de Água (CVA), que é a relação entre o volume de água numa amostra e o volume total da amostra, foi de 14,34 m<sup>3</sup> mg<sup>-3</sup> e de 19,78 m<sup>3</sup> mg<sup>-3</sup> para as camadas de 0-20 e 20-40 cm, respectivamente.

O pH medido tanto em água quanto em KCl, para ambas as camadas, variou entre 6,85 e 7,70. Os solos da região semiárida tendem a apresentar pH alcalino devido a quantidade de

bicarbonato que é lançada ao solo junto com a água utilizada no sistema de irrigação (MAIA, 2013). No entanto, isso não é um problema para a mangueira, pois produz relativamente bem em solos com grande amplitude de pH (SILVA *et al.*, 2004). Ainda, o  $\Delta\text{pH}$  foi negativo em ambas as camadas, indicando o predomínio de cargas negativas capazes de adsorver íons com cargas positivas ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ , dentre outros). Em relação à condutividade elétrica, as duas camadas estudadas apresentaram valores baixos (Tabela 4), o que é um parâmetro relevante, visto que condutividades elétricas altas podem indicar solos salinos (Queiroz, 2013).

O  $\text{Ca}^{2+}$  trocável foi de  $0,86 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  na camada mais superficial e de  $0,82 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  na camada mais profunda. O cálcio é um nutriente exigido em grandes quantidades na cultura de manga, pois tem participação no desenvolvimento da planta e dos frutos. Os valores obtidos para o  $\text{Mg}^{2+}$  foram de  $0,12$  e  $0,10 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  para as camadas 0-20 e 20-40 cm, respectivamente. Nos solos da região semiárida, os teores de cálcio e magnésio são naturalmente baixos, de modo que a calagem é utilizada para suprir as necessidades na produção da manga aumentando a disponibilidade desses nutrientes (Silva *et al.*, 2004).

O  $\text{K}^+$  e  $\text{Na}^+$  apresentaram valores baixos em ambas as camadas, o que requer atenção para a adubação corretiva. Já o  $\text{Al}^{3+}$  não foi identificado nas amostras de solo, o que é o indicado para a cultura, sendo a neutralização do alumínio trocável também um dos objetivos da calagem (Silva *et al.*, 2004). A acidez potencial foi de  $1,98 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  na camada mais superficial e de  $2,48 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  na camada mais profunda e é um importante parâmetro para estimar a Capacidade de Trocas Catiônicas (CTC) do solo. A soma de bases trocáveis (S) e a CTC efetiva tiveram o mesmo valor, tendo em vista que a concentração de alumínio trocável no solo foi nula.

A CTC total do solo (T) foi de  $2,98 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  na camada 0-20 cm e de  $3,41 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  na camada 20-40 cm. De acordo com Silva *et al.* (2004), a CTC do solo em regiões de clima semiárido costumam ser baixas, enquanto a saturação de bases (V) costuma ser elevada, com valores próximos a 100%. No entanto, esse fato não foi identificado nas amostras de solo da região, de modo que os valores de V foram de 33,46% e de 27,45% para as camadas de 0-20 e 20-40 cm. A calagem também pode ser utilizada para subir os valores de V.

O fósforo disponível foi de  $89,68 \text{ mg kg}^{-1}$  na camada 0-20 cm e de  $55,05 \text{ mg kg}^{-1}$  na camada 20-40 cm. A camada mais superficial costuma ter maiores valores de fósforo e essa variação é devido ao fornecimento por fontes externas desse nutriente em áreas sob diferentes usos agrícolas, como observado por Queiroz (2013). Segundo Silva *et al.* (2004), a manga possui baixa demanda de fósforo, em especial em solos arenosos.

Os valores do carbono orgânico foram de 14,97 g kg<sup>-1</sup> na camada 0-20 cm e de 8,95 g kg<sup>-1</sup> na camada 20-40 cm. Baseando-se na premissa que a matéria orgânica possui 58% de carbono orgânico, os valores transformados foram de 25,81 e 15,43 g kg<sup>-1</sup> nas camadas de 0-20 e 20-40 cm, respectivamente. De acordo com Queiroz (2013), os solos da região semiárida possuem baixos teores de matéria orgânica, devido às condições físicas e climáticas da região.

De acordo com ABRASCO (2012), as características do solo da região do Vale do São Francisco propiciam a lixiviação dos agrotóxicos, o que pode favorecer a contaminação das águas subterrâneas.

Durante o período em estudo, foram realizadas 67 aplicações de produtos na cultura, sendo 60 delas com a presença de agrotóxicos em forma de mistura com outros agrotóxicos ou com outros componentes, como fertilizantes. Dentre as aplicações com agrotóxicos, 29 delas foram realizadas em 2021 e 31 em 2022. Em cada ano foram aplicados 13 produtos, totalizando 16 diferentes princípios ativos no período: Abamectina; Acetamiprido; Azoxistrobina; Clorpirifós; Deltametrina; Difenconazol; Espinosade; Etefom; Fenpiroximato; Glifosato; Glufosinato; Hidróxido de cobre; Lambda-Cialotrina; Oxicloreto de cobre; Paclobutrazol e Tebuconazol. Os princípios ativos Acetamiprido, Hidróxido de Cobre e Paclobutrazol só foram aplicados no ano de 2021, enquanto Clorpirifós, Deltametrina e Fenpiroximato apenas no ano de 2022.

As propriedades químicas dos agrotóxicos estudados, a concentração máxima ( $C_{máx}$ ) permitida pela legislação desses agrotóxicos nos corpos hídricos, bem como a classe, a classificação ambiental e a toxicológica estão apresentadas no Quadro 1. Dentre os agrotóxicos aplicados na área, 38% foram inseticidas; 31% fungicidas; 13% acaricidas; 13% reguladores de crescimento; 13% herbicidas e 6% bactericidas, cabe ressaltar que alguns agrotóxicos são classificados em duas classes, como pode ser observado também no Quadro 1.

Quanto à classificação ambiental, três agrotóxicos são considerados produtos altamente perigosos ao meio ambiente, são eles: Acetamiprido; Deltametrina e Lambda-Cialotrina. Já com relação a classificação toxicológica, Clorpirifós e Lambda-Cialotrina são classificados como produto moderadamente tóxico e os demais estão nas categorias 4 e 5, produto pouco tóxico e improvável de causar dano agudo, respectivamente.

Princípio Ativo	$T_{1/2}$ (dias) <sup>2</sup>	$K_{oc}$ (mL g <sup>-1</sup> ) <sup>2</sup>	Solubilidade (mg L <sup>-1</sup> ) <sup>2</sup>	Classe <sup>3</sup>	$C_{máx}$ (mg L <sup>-1</sup> ) <sup>1,2,4</sup>	Classificação Ambiental <sup>3</sup>	Classificação Toxicológica <sup>3</sup>
Abamectina	14,00	5	0,01	Inseticida e Acaricida	0,0001	III	Categoria 4
Acetamiprido	3,00	200	2950,00	Inseticida	0,0001	I	Categoria 4
Azoxistrobina	180,70	589	6,70	Fungicida	0,0001	III	Categoria 4
Clorpirifós	27,60	5509	1,05	Inseticida	0,03	II	Categoria 3
Deltametrina	21,00	10240000	0,0002	Inseticida	0,0001	I	Categoria 4
Difenoconazol	91,80	7734	15,00	Fungicida	0,0001	II	Categoria 5
Espinosade	0,99	2000	235,00	Inseticida	0,0001	III	Categoria 5
Etefom	13,50	2540	1000000,00	Regulador de crescimento	0,0001	III	Categoria 4
Fenpiroximato	6,80	12000	0,02	Inseticida	0,0001	II	Categoria 4
Glifosato	6,45	1424	100000,00	Herbicida	0,065	III	Categoria 5
Glufosinato	7,00	600	500000,00	Herbicida	0,0001	III	Categoria 4
Hidróxido de Cobre	0,10	12000	0,50	Fungicida e Bactericida	2	II	Categoria 4
Lambda-Cialotrina	26,90	283707	0,01	Inseticida	0,0001	I	Categoria 3
Oxicloreto de Cobre	0,10	1000	1,19	Fungicida	2	III	Categoria 5
Paclobutrazol	140,00	400	22,90	Regulador de crescimento	0,0001	III	Categoria 4
Tebuconazol	47,10	6000	36,00	Fungicida	0,18	II	Categoria 5

$T_{1/2}$ : tempo de meia-vida;  $K_{oc}$ : coeficiente de partição da fração orgânica do solo;  $C_{máx}$  – Concentração máxima permitida pela legislação nos corpos hídricos.

#### Quadro 1. Propriedades dos agrotóxicos.

Fonte: (CONAMA, 2005 <sup>1</sup>; IUPAC, 2023 <sup>2</sup>; MAPA, 2023 <sup>3</sup>; Ministério da Saúde, 2011<sup>4</sup>).

O princípio ativo com maior tempo de meia-vida foi a Azoxistrobina com 180,7 dias para degradação no solo, que de acordo com testes em campo, pode ser considerado como persistente (IUPAC, 2023). Com relação ao Coeficiente de Partição de Carbono Orgânico ( $K_{oc}$ ), um valor alto indica que o composto se fixa com firmeza à matéria orgânica do solo e possui menos chance de contaminar os corpos hídricos (superficiais e subterrâneos), de modo que um menor valor de  $K_{oc}$  sugere maior possibilidade de contaminação (Ferracini *et al.*, 2001). O menor valor de  $K_{oc}$  foi o do princípio ativo Abamectina (5 mL kg<sup>-1</sup>).

Com relação à solubilidade, quanto mais solúvel o princípio ativo, maior será a probabilidade de que ele se dissolva em corpos d'água próximos e possa contaminá-los

(MENDES *et al.*, 2019). Assim, cabe destacar o Etefom, seguido do Glifosato e do Glufosinato, como sendo os compostos mais solúveis em água pura.

A análise dos riscos de contaminação dos recursos hídricos subterrâneos por meio da lixiviação do produto, com base no cálculo do índice GUS (Gustafson, 1989), demonstrou que os agrotóxicos utilizados na parcela de cultivo em estudo apresentam baixo potencial de contaminação das águas subterrâneas, tendo em vista que 81,25% dos compostos em estudo não apresentam potencial para lixiviação (NL) (Quadro 2). Dentre os agrotóxicos estudados, apenas Abamectina e Paclobutrazol apresentam Provável Lixiviação (PL) e Azoxistrobina está na Faixa de Transição (FT). A classificação do Abamectina e do Azoxistrobina, corrobora com o resultado encontrado pela Embrapa Semiárido *et al.* (2017) em um estudo da contaminação potencial dos corpos hídricos por agrotóxicos na cultura de uva, também no Vale do São Francisco.

Já com relação à análise dos riscos de contaminação dos recursos hídricos superficiais por meio do método de Goss (GOSS, 1992) (Quadro 2), constatou-se que dos 16 agrotóxicos aplicados na área de estudo, 25% apresentam alto risco de contaminar as águas superficiais dissolvido em água, 31,25% médio risco e 43,75% baixo risco. Enquanto 12,5% apresentam alto risco adsorvido a sedimentos, 50% médio risco e 37,5% baixo risco. Assim, é possível identificar que os agrotóxicos em estudo apresentam, majoritariamente, de baixo a médio risco de contaminar os corpos hídricos superficiais.

De acordo com o método de Goss, o Difenconazol e o Tebuconazol são os dois compostos com maior risco de contaminar os corpos hídricos superficiais, visto que apresentam risco alto seja dissolvido em água ou adsorvido a sedimentos. Ainda, Azoxistrobina e Paclobutrazol, além de apresentarem risco para as águas subterrâneas, de acordo com o índice de GUS, também são classificados como de alto risco para a contaminação das águas superficiais na forma dissolvida em água. Essas informações podem ser utilizadas como base para a escolha de agrotóxicos para monitoramento, quando houver necessidade da elaboração de um programa de análise da qualidade da água dos corpos hídricos da região.

Diversos estudos já apontam a presença de resíduos de agrotóxicos nos corpos hídricos, até mesmo naqueles utilizados para abastecimento humano. Devido à essa problemática ambiental e de saúde pública, a CETESB realiza o monitoramento da água em São Paulo, buscando identificar a presença dos agrotóxicos nos corpos hídricos superficiais e subterrâneos e também no sedimento. Valores acima dos critérios nacionais e internacionais foram identificados para o inseticida Clorpirifós (CETESB, 2021).

Princípio Ativo	GUS		GOSS	
	Resultado	Lixiviação	Dissolvido em água	Adsorvido a sedimentos
Abamectina	3,78	PL	Baixo	Médio
Acetamiprido	0,81	NL	Médio	Baixo
Azoxistrobina	2,78	FT	Alto	Médio
Clorpirifós	0,37	NL	Médio	Médio
Deltametrina	-3,98	NL	Baixo	Médio
Difenoconazol	0,22	NL	Alto	Alto
Espinosade	0,00	NL	Baixo	Baixo
Etefom	0,67	NL	Médio	Médio
Fenpiroximato	-0,07	NL	Baixo	Médio
Glifosato	0,69	NL	Médio	Médio
Glufosinato	1,03	NL	Médio	Baixo
Hidróxido de Cobre	0,08	NL	Baixo	Baixo
Lambda-Cialotrina	-2,08	NL	Baixo	Médio
Oxicloreto de Cobre	-1,00	NL	Baixo	Baixo
Pacloutrazol	3,00	PL	Alto	Baixo
Tebuconazol	0,37	NL	Alto	Alto

Para GUS < 1,8, não sofre lixiviação (NL); para 1,8 < GUS < 2,8, faixa de transição; e para GUS > 2,8, provável lixiviação (PL).

#### **Quadro 2. Aplicação do índice de GUS e do método de GOSS.**

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Um estudo sobre o risco de contaminação das águas superficiais e subterrâneas por agrotóxicos em cultivo de Cebola nos municípios de Casa Nova e Sento Sé na Bahia (Embrapa Semiárido *et al.*, 2019), concluiu que, dentre os agrotóxicos aplicados na cultura, Clorpirifós, Difenoconazol e Lambda-cialotrina possuem elevado risco de contaminação adsorvido a sedimentos e que Azoxistrobina, Clorpirifós e Tebuconazol apresentam alto risco dissolvido em água.

Pinheiro, Silva e Kraisch (2010) pesquisaram sobre a presença de agrotóxicos em águas superficiais e subterrâneas da bacia do Itajaí, SC, realizando coletas de amostras em pontos no rio e em poços, concluindo que os herbicidas tiveram baixa detecção nas águas superficiais e subterrâneas, enquanto os fungicidas (Metconazol e Tebuconazol) e o inseticida (Lambda-Cialotrina) apresentaram alta frequência de detecção. Ainda, as concentrações foram elevadas, ultrapassando os limites máximos estabelecidos pela União Europeia. Os autores também discutiram sobre o fato de que, para a maioria dos princípios ativos autorizados no país, os limites máximos não são estabelecidos pela legislação brasileira. Britto *et al.* (2015) avaliaram o risco de contaminação hídrica por agrotóxicos no perímetro irrigado Betume, que é um afluente do Rio São Francisco, evidenciando a presença do Clorpirifós, Tebuconazol e

Tetraconazol. Ainda conforme os autores, o problema da contaminação se torna mais grave quando a água do corpo hídrico contaminado é utilizada para abastecimento humano, o que deixa a população em risco, sendo necessário tomar decisões para garantir a qualidade da água.

O Quadro 3 apresenta o organismo não-alvo mais afetado por cada princípio ativo, partindo da premissa de que a sensibilidade do ecossistema depende da espécie mais sensível. Os valores de  $EC50$  e de  $LC50$  foram obtidos na base de dados da IUPAC (2023) e, quando ausentes nesta base, pela Ficha de Informação de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ) disponibilizada na internet pelos fabricantes dos produtos. Para os peixes, os valores obtidos foram de  $LC50$ , que é a dose letal média dos produtos, ou seja, a concentração que causa a mortalidade de 50% dos organismos expostos. Já para dáfnias e algas foi a  $EC50$ , que é a concentração que produz efeito adverso em 50% dos organismos expostos. Com essas informações foi possível calcular a Concentração de Efeito Não Previsto ( $PNEC$ ) de cada um dos princípios ativos, conforme descrito na metodologia.

De acordo com os valores de  $PNEC$ , Clorpirifós, Deltametrina e Lambda-Cialotrina são os mais tóxicos para os organismos não-alvo. Vale destacar que todos estes fazem parte da classe de inseticidas. Já os princípios ativos Acetamiprido, Glufosinato e Glifosato são os menos tóxicos, visto que apresentam maiores valores de  $PNEC$ .

O Quadro 3 também apresenta os valores do Fator de Retardo ( $R_F$ ), os valores da recarga hídrica diária de água ( $J_w$ ) para os dois anos em estudo; e o cálculo do fator de atenuação ( $A_F$ ) do agrotóxico do solo para a água subterrânea. O  $R_F$  está diretamente ligado ao valor do  $K_{oc}$  do princípio ativo. O maior valor de  $R_F$  foi o do agrotóxico Deltametrina, que também possui o maior valor de  $K_{oc}$ .

O  $R_F$  é um parâmetro relevante para o cálculo do fator de atenuação, de modo que valores altos de  $R_F$  refletem em menores valores de  $A_F$ . Os valores do  $A_F$  foram muito baixos, corroborando com o resultado encontrado pelo método de GUS, que demonstrou que os agrotóxicos utilizados na parcela de cultivo em estudo apresentam, em geral, baixo potencial de contaminação das águas subterrâneas por lixiviação. Os agrotóxicos Abamectina e Paclobutrazol, que foram classificados como de provável lixiviação, e a Azoxistrobina, que ficou na zona de transição, apresentaram os maiores valores do fator de atenuação, embora ainda baixos.

A Tabela 5 apresenta o número de vezes que cada agrotóxico foi aplicado e o quanto isso representa em termos de carga poluente. Além disso, apresenta os coeficientes de lixiviação-escoamento utilizados no H-model e o coeficiente de escoamento dos agrotóxicos utilizados no P-model, calculados conforme descrito na metodologia.

O agrotóxico mais aplicado na parcela de cultivo na área de estudo, durante o ano de 2021, foi o Lambda-Cialotrina, que é um inseticida, totalizando 13 aplicações. Glifosato, Glufosinato e Paclobutrazol foram os menos aplicados, com apenas 1 (uma) aplicação no período. No entanto, apesar de ter sido aplicado apenas uma vez, o Paclobutrazol foi o agrotóxico com a maior carga de poluente aplicada (*Apl*), que foi de 34,88 kg, seguido pelo Glifosato com uma *Apl* de 22,71 kg. Já para o ano de 2022, o agrotóxico mais aplicado foi o Espinosade, pertencente a classe dos inseticidas. No ano de 2022 o Paclobutrazol não foi aplicado e a maior carga poluente foi a do Glifosato, com uma *Apl* de 45,42 kg, apesar de ter sido aplicado apenas duas vezes no ano.

Princípio Ativo	Organismos não-alvo	<sup>1</sup> EC50/CL50 (mg L <sup>-1</sup> )	PNEC (kg m <sup>-3</sup> )	R <sub>F</sub>	J <sub>w</sub> (m d <sup>-1</sup> )		A <sub>F</sub>	
					2021	2022	2021	2022
Abamectina	Daphnia Similis	5,60E-03	5,60E-09	1,38	1,30E-03	3,49E-04	5,57E-12	1,28E-42
Acetamiprido	Daphnia magna	4,98E+01	4,98E-05	16,40	3,21E-03	*	1,52E-252	*
Azoxistrobina	Daphnia magna	2,30E-01	2,30E-07	46,34	1,15E-03	4,35E-04	8,80E-34	5,93E-88
Clorpirifós	Daphnia magna	1,00E-04	1,00E-10	425,11	*	4,93E-03	*	0,00E+00
Deltametrina	Oncorhynchus mykiss (peixe)	1,50E-04	1,50E-10	788335,01	*	2,73E-03	*	0,00E+00
Difenoconazol	Scenedemus subspicatus (Alga)	3,20E-02	3,20E-08	596,41	7,28E-04	4,91E-04	0,00E+00	0,00E+00
Espinosade	Navicula sp. (Alga)	1,70E-01	1,70E-07	154,97	8,48E-04	6,85E-04	0,00E+00	0,00E+00
Etefom	Navicula pelliculosa (Alga)	2,86E+00	2,86E-06	196,54	1,94E-03	1,89E-03	0,00E+00	0,00E+00
Fenpiroximato	Oncorhynchus mykiss (peixe)	1,05E-03	1,05E-09	924,83	*	7,64E-04	*	0,00E+00
Glifosato	Pseudokirchneriella subcapitata (Alga)	1,90E+01	1,90E-05	110,63	4,23E-04	2,22E-03	0,00E+00	0,00E+00
Glufosinato	Pseudokirchneriella subcapitata	3,07E+01	3,07E-05	47,19	4,23E-04	2,22E-03	0,00E+00	0,00E+00
Hidróxido de Cobre	Pseudokirchneriella subcapitata	9,00E-03	9,00E-09	924,83	9,76E-04	*	0,00E+00	*
Lambda-Cialotrina	Lepomis macrochirus (Peixe)	2,10E-04	2,10E-10	21842,39	9,17E-04	8,88E-04	0,00E+00	0,00E+00
Oxicloreto de Cobre	Daphnia magna	2,90E-01	2,90E-07	77,99	9,76E-04	3,43E-03	0,00E+00	0,00E+00
Paclobutrazol	Pseudokirchneriella subcapitata (Alga)	7,20E+00	7,20E-06	31,79	1,01E-02	*	4,77E-04	*
Tebuconazol	Scenedemus subspicatus (Alga)	1,96E+00	1,96E-06	462,91	7,78E-04	4,32E-04	0,00E+00	0,00E+00

\* não houve aplicação no período.

**Quadro 3. Toxicidade, fator de retardo, recarga hídrica diária de água e fator de atenuação.**

Fonte: (IUPAC, 2023<sup>1</sup>; Autora, 2023).

**Tabela 5. Número de aplicações dos agrotóxicos; Apl (kg); coeficiente de lixiviação-escoamento (Hoekstra) e coeficiente de escoamento (Paraíba).**

Princípio Ativo	Nº de Aplicações		Apl (kg)		$\alpha_H$ (adimensional)	$\alpha$ (adimensional)
	2021	2022	2021	2022		
<b>Abamectina</b>	7	7	8,85	8,85	6,00E-02	9,89E-02
<b>Acetamiprido</b>	5	*	5,05	*	4,52E-02	1,56E-02
<b>Azoxistrobina</b>	5	6	1,80	2,16	6,33E-02	5,87E-03
<b>Clorpirifós</b>	*	2	*	7,97	4,00E-02	7,40E-04
<b>Deltametrina</b>	*	4	*	4,36	4,00E-02	9,36E-05
<b>Difenoconazol</b>	6	5	10,85	9,04	4,85E-02	5,55E-04
<b>Espinosade</b>	3	10	2,93	9,17	3,18E-02	1,86E-03
<b>Etefom</b>	3	5	2,51	4,62	4,00E-02	1,49E-03
<b>Fenpiroximato</b>	*	1	*	3,30	3,18E-02	3,91E-04
<b>Glifosato</b>	1	2	22,71	45,42	3,18E-02	2,42E-04
<b>Glufosinato</b>	1	2	14,61	29,22	3,18E-02	5,77E-03
<b>Hidróxido de Cobre</b>	1	*	3,32	*	3,18E-02	3,91E-04
<b>Lambda-Cialotrina</b>	13	7	2,07	1,12	4,00E-02	1,06E-04
<b>Oxicloreto de Cobre</b>	2	3	13,28	19,92	3,84E-02	3,57E-03
<b>Paclobutrazol</b>	1	*	34,88	*	6,33E-02	8,40E-03
<b>Tebuconazol</b>	6	6	19,80	19,80	4,85E-02	6,87E-04

\* não houve aplicação no período.

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

O Volume de Água Cinza (VAC) foi calculado para o H-model e o P-model para os anos de 2021 (Tabela 6) e 2022 (Tabela 7). Para a carga poluente aplicada em 2021, o H-model apontou o Paclobutrazol como o de maior VAC, seguido pelos agrotóxicos Abamectina, Difenoconazol e Glufosinato, todos com a mesma ordem de grandeza de VAC ( $10^6$  m<sup>3</sup>). Vale ressaltar que o Paclobutrazol foi aplicado 1 (uma) única vez e obteve a maior Apl, além de ser susceptível à lixiviação e ao escoamento superficial, o que justifica a sua posição no ranking.

Já no ranking gerado no P-model, o agrotóxico mais poluente foi o Abamectina (7,59), que de acordo com o índice de GUS, possui provável lixiviação, seguido pelos agrotóxicos Lambda-Cialotrina (5,42) e Difenoconazol (4,67). Um estudo realizado por Novelli (2010), já demonstrava que Abamectina é altamente tóxico em concentrações muito baixas, o que deve sugerir a adoção de medidas que restrinjam seu uso e também justifica a sua posição no ranking. Um dos motivos para o Paclobutrazol não ocupar uma posição de destaque no ranking proveniente do P-model é porque o modelo considera a toxicidade como um fator determinante para o cálculo da pegada hídrica cinza e o Paclobutrazol não é um dos agrotóxicos mais tóxicos dentre os utilizados na área. Ainda, o Lambda-Cialotrina teve mais destaque no VAC pelo P-

model, pois é um dos princípios ativos com menor valor de *PNEC* e classificado como altamente perigoso ao meio ambiente e moderadamente tóxico.

Ainda para a carga de agrotóxicos aplicada na parcela de cultivo no ano de 2021 (Tabela 6), o H-model demonstrou que os menores valores de *VAC* foram dos agrotóxicos Glifosato, Tebuconazol, Oxicloreto de Cobre e Hidróxido de Cobre. A posição que eles ocupam no ranking tem forte influência dos valores de  $C_{máx}$  considerados para eles, que são maiores que os definidos para a maioria dos princípios ativos em estudo, já que para os agrotóxicos que não possuem  $C_{máx}$  padronizada na legislação brasileira foi adotado o padrão da União Europeia, conforme a Diretriz 2015/1787, de 06/10/2015, que padroniza o valor de  $C_{máx}$  como de 0,0001 mg L<sup>-1</sup> para todos os princípios ativos, sendo este valor mais restritivo. A  $C_{máx}$  do Tebuconazol foi adotada como de 0,18 mg L<sup>-1</sup> (Ministério da Saúde, 2017); a do Oxicloreto de Cobre e do Hidróxido de Cobre como 2 mg L<sup>-1</sup>, de acordo com o padrão europeu de cobre na água para abastecimento humano (IUPAC, 2023) e a do Glifosato como 0,065 mg L<sup>-1</sup> (CONAMA, 2005).

O P-model não considera a  $C_{máx}$  permitida pela legislação. Assim, os menores *VAC* foram dos princípios ativos Glifosato, Etefom e Acetamiprido, que são produtos com valores mais altos de *PNEC*, ou seja, são menos tóxicos para organismos não-alvo.

**Tabela 6. Volume de Água Cinza dos agrotóxicos aplicados em 2021**

Princípios Ativos Aplicações de 2021	Volume de Água Cinza ( <i>VAC</i> ) - H-model		Volume de Água Cinza ( <i>VAC</i> ) - P-model	
	$VAC_i^{ha}$ (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	$r_i$	$VAC_i^{ha}$ (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	$r_i$
Abamectina	1,33E+06	6,12	3,91E+07	7,59
Acetamiprido	5,71E+05	5,76	3,95E+02	2,60
Azoxistrobina	2,85E+05	5,45	1,15E+04	4,06
Difenoconazol	1,32E+06	6,12	4,70E+04	4,67
Espinosade	2,33E+05	5,37	8,01E+03	3,90
Etefom	2,51E+05	5,40	3,26E+02	2,51
Glifosato	2,77E+03	3,44	7,24E+01	1,86
Glufosinato	1,16E+06	6,06	6,86E+02	2,84
Hidróxido de Cobre	1,32E+01	1,12	3,61E+04	4,56
Lambda-Cialotrina	2,08E+05	5,32	2,62E+05	5,42
Oxicloreto de Cobre	6,37E+01	1,80	4,08E+04	4,61
Paclobutrazol	5,52E+06	6,74	1,07E+04	4,03
Tebuconazol	1,33E+03	3,13	1,74E+03	3,24

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

No ranking dos dois modelos aplicados para estimar a pegada hídrica cinza de 2021, já discutidas, também foi possível observar grandes diferenças para o Glufosinato, Acetamiprido,

Etefon, Oxicloreto de Cobre e Hidróxido de Cobre no ano de 2021 (Figura 9). O Glufosinato no H-model é um dos maiores valores no ranking e no P-model um dos menores. Isso pode estar associado ao fato de que o Glufosinato tem uma alta taxa de aplicação e é altamente solúvel, mas possui um alto valor de PNEC, ou seja, é pouco tóxico. O Acetamiprido e o Etefon também são produtos pouco tóxicos e, por isso, tiveram valores mais baixos de VAC no P-model. O Oxicloreto de Cobre e o Hidróxido de Cobre tem um valor de  $C_{máx}$  alto, o que fez com que tenham um baixo valor de VAC pelo H-model, mas são produtos tóxicos com valores baixos de PNEC para o organismo não-alvo mais sensível, o que subiu sua posição no ranking com base no P-model (2014).

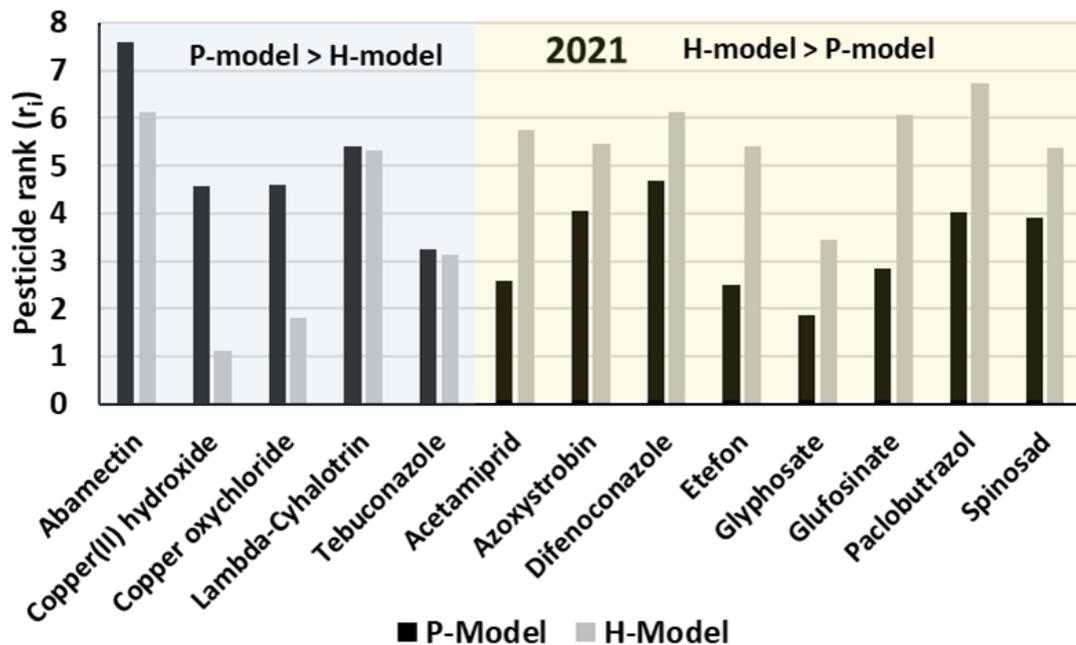


Figura 9. Comparação entre os rankings obtidos pelos modelos P-Model e H-Model - 2021.

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Para o ano de 2022, o ranking de agrotóxicos calculados pelo H-model apontou o Glufosinato como o de maior VAC, seguido por Abamectina e Difenconazol, todos com a ordem de grandeza de  $10^6 \text{ m}^3$ . Vale relembrar que o Paclobutrazol, que apresentou o maior VAC em 2021, não foi aplicado nesse período. Já o ranking gerado com base no P-model destacou a Abamectina como o maior VAC, seguida pelos princípios ativos Clorpirifós e Deltametrina, todos com valores de PNEC muito baixos.

Os menores valores de VAC para as aplicações em 2022, de acordo com o H-model, foram do Clorpirifós, Oxicloreto de Cobre, Tebuconazol e Glifosato. Do mesmo modo que já

explicado para o ano de 2021, essa posição possui forte ligação com os valores adotados para a  $C_{máx}$ . Para o ranking do P-model, os menores VAC são dos agrotóxicos Glufosinato, Etefom e Glifosato, todos eles com baixa toxicidade para organismos não-alvo.

**Tabela 7. Volume de Água Cinza dos agrotóxicos aplicados em 2022**

Princípios Ativos Aplicações de 2022	Volume de Água Cinza (VAC) – H-model		Volume de Água Cinza (VAC) - P-model	
	$VAC_i^{ha}$ ( $m^3 ha^{-1}$ )	$r_i$	$VAC_i^{ha}$ ( $m^3 ha^{-1}$ )	$r_i$
	<b>Abamectina</b>	1,33E+06	6,12	3,91E+07
<b>Azoxistrobina</b>	3,42E+05	5,53	1,38E+04	4,14
<b>Clorpirifós</b>	2,66E+03	3,42	1,47E+07	7,17
<b>Deltametrina</b>	4,36E+05	5,64	6,80E+05	5,83
<b>Difenoconazol</b>	1,10E+06	6,04	3,92E+04	4,59
<b>Espinosade</b>	7,29E+05	5,86	2,51E+04	4,40
<b>Etefom</b>	4,62E+05	5,66	6,00E+02	2,78
<b>Fenpiroximato</b>	2,62E+05	5,42	3,07E+05	5,49
<b>Glifosato</b>	5,55E+03	3,74	1,45E+02	2,16
<b>Glufosinato</b>	2,32E+06	6,37	1,37E+03	3,14
<b>Lambda-Cialotrina</b>	1,12E+05	5,05	1,41E+05	5,15
<b>Oxicloreto de Cobre</b>	9,55E+01	1,98	6,13E+04	4,79
<b>Tebuconazol</b>	1,33E+03	3,13	1,74E+03	3,24

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

As mesmas diferenças entre o ranking dos dois modelos observadas em 2021 também foram observadas em 2022 para Glufosinato, Etefom, Lambda-Cialotrina e Oxicloreto de Cobre. Além desses agrotóxicos, também foi possível observar diferença expressiva no resultado para Clorpirifós, Deltametrina e Fenpiroximato, que não foram aplicados no anterior (Figura 10).

De acordo com o H-model, Clorpirifós ocupa a 11<sup>a</sup> posição, Deltametrina ocupa a 6<sup>a</sup> e Fenpiroximato a 8<sup>a</sup>, enquanto no P-model Clorpirifós está na 2<sup>a</sup> posição no ranking, Deltametrina na 3<sup>a</sup> e Fenpiroximato na 4<sup>a</sup>. O Clorpirifós não foi aplicado no ano de 2021 e no ano de 2022 foi aplicado apenas 2 (duas) vezes na parcela de cultivo. É um inseticida classificado como moderadamente tóxico e muito perigoso ao meio ambiente. Deltametrina é classificado como altamente perigoso ao meio ambiente. Ainda, os três princípios ativos são tóxicos para organismos não-alvo, visto que possuem valores baixos de PNEC.

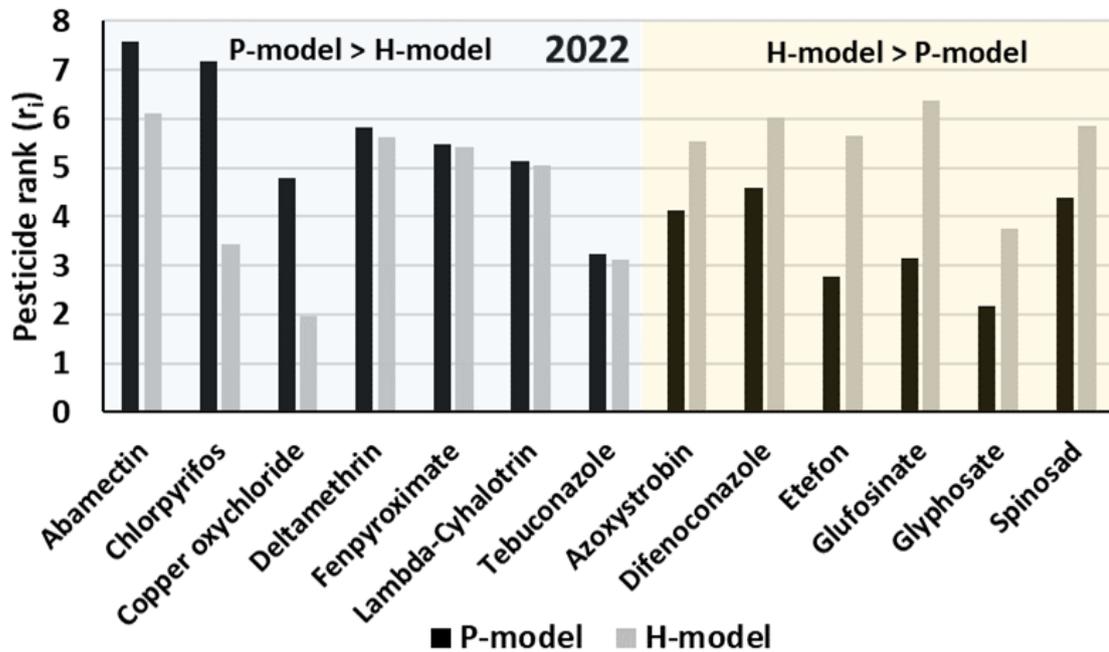


Figura 10. Comparação entre os rankings obtidos pelos modelos P-model e H-model - 2022.

Dentre os agrotóxicos da classe de inseticidas e acaricidas, os que tiveram um maior VAC foram o Abamectina e o Clorpirifós. O princípio ativo Abamectina é classificado como de provável lixiviação, pelo índice de GUS, possui baixo valor de *PNEC*, sendo considerado como tóxico e possuindo um baixo fator de retardo, em consequência de seu baixo valor de  $K_{oc}$ . Por isso, esteve nas maiores posições do ranking tanto do modelo H-model, quanto do P-model, para os dois anos em análise. Clorpirifós se destaca por ser o mais tóxico, com o menor valor de *PNEC* entre os agrotóxicos aplicados na parcela de cultivo.

Dentre os fungicidas cabe destacar o Azoxistrobina, que possui tendência de lixiviação, de acordo com o método de GUS, e alto risco de contaminar os corpos hídricos superficiais dissolvido em água. Azoxistrobina não recebeu destaque como maior VAC em nenhum dos modelos pela baixa carga aplicada.

Com relação aos herbicidas, o Glufosinato apresentou maior volume de VAC que o Glifosato em todos os modelos, o que pode estar associado ao fato de possuir um menor  $K_{oc}$  e, consequentemente, menor fator de retardo e de ser mais solúvel em água. No entanto, apesar do Glifosato gerar uma menor pegada hídrica cinza e ser pouco tóxico para os organismos aquáticos, diversos estudos já apontam seu poder cancerígeno, em especial, por meio da exposição ocupacional dos trabalhadores rurais (Siqueira; Bressiani, 2023).

O sucesso da indução floral da manga no semiárido depende de reguladores de crescimento como o Paclobutrazol e o Etefon. O principal regulador de crescimento utilizado

é o Paclobutrazol (Oliveira, 2020). Porém, como observado, ele gerou o maior VAC no ano de 2021, mesmo tendo sido aplicado uma única vez, haja vista sua tendência em lixiviar e escoar diluído em água. O Etefom, por outro lado, possui um valor mais baixo do VAC tanto no H-model quanto no P-model, mas não possui eficiência quando aplicado sozinho. Já existem diversos estudos que demonstram a eficiência de combinar o Paclobutrazol com o Etefom, assim como outros produtos como o nitrato de potássio e o sulfato de potássio, inclusive na cultura de manga Tommy Atkins (Mendonça *et al.*, 2001, 2003; Silva; Neves, 2011). Além disso, o Etefom também possui boa eficiência quando combinado com o estresse hídrico (Mouco; Albuquerque, 2021). Assim, diminuir a dose aplicada de Paclobutrazol, quando não comprometer a produção agrícola, ou substituí-lo pelo Etefom combinado com o estresse hídrico, reduzirá a pegada hídrica cinza da cultura.

Para o H-model, que considera que o volume de água cinza da mistura será o maior volume de água cinza por hectare dentre os volumes calculados para cada agrotóxico utilizado na mistura, o  $VAC_{ha}$  gerado foi de  $5,52 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , que se refere ao  $VAC_{ha}$  da aplicação do Paclobutrazol em dezembro de 2021. Já para o ano de 2022, foi de  $1,16 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  resultado da aplicação da mistura de Glifosato e Glufosinato. Para o P-model, que utiliza o princípio de adição de concentração, o  $VAC_{ha}$  foi de  $3,95 \times 10^7 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  em 2021 e  $5,51 \times 10^7 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  em 2022.

O Volume de Água Cinza encontrado pelo P-model foi maior que o calculado pelo H-model. Isso pode estar relacionado ao fato de o P-model ser mais conservador do meio ambiente por levar em consideração a toxicidade dos princípios ativos em organismos aquáticos indicadores, como já discutido por Barreto *et al.* (2019). Paraíba *et al.* (2014) também já apontavam em seu estudo que a potência da mistura calculada usando o modelo de adição de concentração é maior que quando utilizado o modelo de ação independente.

De modo geral, considerando ambos os modelos, os VAC das misturas de agrotóxicos aplicadas nos quatro hectares na cultura de manga Tommy Atkins são consideravelmente elevados. Para comparação, considerando VAC de  $2,20 \times 10^8 \text{ m}^3$  pelo P-model no ano de 2022, esse volume equivale a 11 milhões de carros pipa com capacidade de  $20 \text{ m}^3$ .

Não existem trabalhos na região que tenham realizado a estimativa da pegada hídrica cinza dos agrotóxicos aplicados em cultura de manga Tommy Atkins para fins de comparação, de modo que os resultados encontrados neste estudo podem ser uma ferramenta importante para a escolha de agrotóxicos menos poluentes a serem aplicados na cultura associados a outras técnicas sustentáveis. Um bom exemplo é o uso do controle biológico aplicado na região que é o projeto da Mosamed, que utiliza insetos machos estéreis da mosca-da-fruta que são liberados nas áreas infestadas para competir com os insetos selvagens, reduzindo assim a população das

pragas, podendo substituir a utilização de inseticidas, como o Deltametrina, para o combate das moscas-das-frutas, o que reduziria a pegada hídrica cinza da cultura. Ainda é possível pensar em combinar diferentes agrotóxicos para reduzir a dose dos agrotóxicos mais poluentes, como é o caso de combinar o PBZ e o Etefom ou o Etefom com o estresse hídrico para a indução floral da manga, conforme já discutido.

## CONCLUSÕES

O solo da região de estudo é arenoso, o que o torna mais vulnerável para a lixiviação. No entanto, de acordo com a avaliação da contaminação potencial dos corpos hídricos pelos agrotóxicos aplicados na cultura realizada por meio do Índice de GUS e do método de GOSS, os agrotóxicos que foram aplicados na cultura de manga Tommy Atkins possuem baixo potencial de contaminação das águas subterrâneas por lixiviação e apresentam de baixo a médio risco de contaminar os corpos hídricos superficiais.

Os agrotóxicos Difenconazol e Tebuconazol possuem o maior risco de contaminar os corpos hídricos superficiais, dentre os 16 agrotóxicos aplicados na área no período de 2 (dois) anos. O agrotóxico Abamectina foi classificado como de provável lixiviação. Já os agrotóxicos Azoxistrobina e Paclobutrazol, além de apresentarem risco para a contaminação das águas subterrâneas por lixiviação, também são classificados como de alto risco de contaminação das águas superficiais na forma dissolvida em água. Embora não tenham sido classificados como de provável lixiviação e de risco para as águas superficiais neste estudo, Clorpirifós e Lambda-Cialotrina requerem atenção devido aos baixos valores de *PNEC* e por serem citados na literatura como princípios ativos encontrados quando analisada a água de corpos hídricos próximos às áreas de cultivo, incluindo o Rio São Francisco.

No ano de 2021, de acordo com o H-model, o Paclobutrazol foi responsável pelo maior *VAC*. Já para o P-model foi a Abamectina. No ano de 2022, para o H-model o maior valor do *VAC* foi do Glufosinato e conforme o P-model foi, novamente, a Abamectina. Essa diferença entre os modelos está associada, principalmente, ao fato de que o modelo de Hoekstra *et al.* (2011) leva em consideração a concentração máxima permitida pela legislação dos agrotóxicos nos corpos hídricos, enquanto o modelo de Paraíba *et al.* (2014) considera o efeito tóxico em organismos indicadores.

O *VAC<sub>ha</sub>* das misturas de agrotóxicos aplicadas na cultura de manga Tommy Atkins foi na ordem de grandeza de  $10^6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  para o H-model e de  $10^7 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  para P-model. De modo geral, considerando os dois modelos aplicados, pode-se observar que o *VAC<sub>ha</sub>* das misturas de

agrotóxicos aplicadas na cultura de manga Tommy Atkins foi elevado. É possível concluir ainda que o P-model é mais sustentável, por levar em consideração a toxicidade dos agrotóxicos aos organismos aquáticos.

Assim, o ranking de agrotóxicos obtido por meio do cálculo da pegada hídrica cinza, associado também a avaliação potencial de contaminação dos corpos hídricos por agrotóxicos, pode ser uma ferramenta importante para nortear melhores escolhas das misturas de agrotóxicos a serem aplicadas na cultura de manga Tommy Atkins, e também de outros cultivares de manga da região, tendo em vista que as pragas e doenças combatidas e, conseqüentemente, os agrotóxicos aplicados são semelhantes, buscando proteger os corpos hídricos e manter a produtividade agrícola.

## REFERÊNCIAS

- ABRASCO. **Dossiê ABRASCO - Um alerta sobre os impactos dos agrotóxicos na Saúde. Parte 2 - Agrotóxicos, saúde, ambiente e sustentabilidade.** 2012. Disponível em: <[www.aicoculturas.com](http://www.aicoculturas.com)>.
- ALMEIDA, B. G. *et al.* **Padronização de Métodos para Análise Granulométrica no Brasil Comunicado Introdução.** Rio de Janeiro: Embrapa, 2012.
- ARAÚJO, W. B. C.; CAMPOS, R. T.; CAMPOS, K. C. Análise da cadeia produtiva da manga em Petrolina. **Revista de Política Agrícola**, v. 4, p. 122–133, 2018.
- BARRETO, M. **Estimativa do volume de água cinza de misturas de pesticidas utilizadas na cana-de-açúcar em um Argissolo Amarelo.** Dissertação (Programa de pós-graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares) - Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2018.
- BRITTO, F. B. *et al.* Avaliação do risco de contaminação hídrica por agrotóxicos no Perímetro Irrigado Betume no Baixo Rio São Francisco. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 9, n. 3, p. 158–170, 11 maio 2015.
- CETESB. **Diagnóstico da contaminação de águas superficiais, subterrâneas e sedimentos por agrotóxicos.** São Paulo: CETESB, 2021. Disponível em: <[https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2021/10/Diagnostico-da-Contaminacao-de-Aguas-Superficiais-Subterraneas-e-Sedimentos-por-Agrotoxicos\\_.pdf](https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2021/10/Diagnostico-da-Contaminacao-de-Aguas-Superficiais-Subterraneas-e-Sedimentos-por-Agrotoxicos_.pdf)>. Acesso em: 19 jul. 2023.
- CONAMA. **Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005.** Brasil. 17 mar. 2005. Disponível em: <[https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res\\_conama\\_357\\_2005\\_classificacao\\_corpos\\_agua\\_rtfcd\\_a\\_altrd\\_res\\_393\\_2007\\_397\\_2008\\_410\\_2009\\_430\\_2011.pdf](https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfcd_a_altrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf)>. Acesso em: 31 maio. 2023.
- CONAMA. **Resolução CONAMA nº 396, de 3 de abril de 2008.** Brasil. 17 mar. 2005. Disponível em: <

<http://portalpnqa.ana.gov.br/Publicacao/RESOLU%C3%87%C3%83O%20CONAMA%20n%C2%BA%20396.pdf>>. Acesso em: 31 maio. 2023.

DA SILVA, J. A.; NEVES, J. A. Combinação do Paclobutrazol, Sulfato de Potássio e Etefon na indução floral da mangueira cv. Tommy Atkins. **Comunicata Scientiae**, v. 2, n. 1, p. 18-24, 2011.

DIAS, A. F. *et al.* **Pegada hídrica da manga em sistemas alternativos de produção**. Anais do VI Congresso Brasileiro Sobre Gestão do Ciclo de Vida. **Anais...** Brasília: VI Congresso Brasileiro Sobre Gestão do Ciclo de Vida, jun. 2018.

EMBRAPA *et al.* **A cultura da Manga**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2006. v. Coleção Plantar, 53

EMBRAPA *et al.* **Cultivo da mangueira**. Embrapa Semiárido, 2010. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/884451/1/CultivodaMangueira.pdf>>. Acesso em: 30 abr. 2023.

EMBRAPA SEMIÁRIDO *et al.* **Contaminação Potencial dos Corpos Hídricos por Agrotóxicos em Áreas de Produção de Uva**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2017.

Disponível em:

<<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/197942/1/BPD133.pdf>>. Acesso em: 4 maio. 2023.

EMBRAPA SEMIÁRIDO *et al.* **Risco de Contaminação das Águas Superficiais e Subterrâneas por Agrotóxicos em Cultivos de Cebola no Entorno do Lago de Sobradinho, Estado da Bahia**. Petrolina, PE: Embrapa, 2019. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/202879/1/Risco-de-Contaminacao-das-Aguas-2019.pdf>>. Acesso em: 19 jul. 2023.

EMBRAPA SEMIÁRIDO. **Dados agrometeorológicos do Vale do São Francisco**.

Disponível em: <<https://www.embrapa.br/dados-agrometeorologicos-do-vale-do-sao-francisco>>. Acesso em: 31 mar. 2023.

FERRACINI, V. *et al.* Análise de risco de contaminação das águas subterrâneas e superficiais da região de Petrolina (PE) e Juazeiro (BA). **Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, n. 11, p. 1–16, 2001.

FERREIRA, C. B. **Análise da produtividade agrícola no Vale do São Francisco: um estudo diante da escassez de recursos hídricos**. Tese de Doutorado—Piracicaba: Universidade de São Paulo, 2022.

FIGUEIREDO, M. V. B. *et al.* Secretaria de Agricultura e Reforma Agrária. **Guia prático para controle de amostras laboratoriais** – Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA). Recife, 90p. , 2013

GOSS, D. W. Screening Procedure for Soils and Pesticides for Potential Water Quality Impacts. **Weed Technology**, v. 6, n. 3, p. 701–708, set. 1992.

GUSTAFSON, D. I. Groundwater Ubiquity Score: A simple method for assessing pesticide leachability. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 8, p. 339–357, 1989.

HAINES, W. B. Studies in the physical properties of soil. V. The hysteresis effect in capillary properties, and the modes of moisture distribution associated therewith. **The Journal of Agricultural Science**, v. 20, n. 1, p. 97–116, 27 jan. 1930.

HERNÁNDEZ, A. F.; GIL, F.; LACASAÑA, M. Toxicological interactions of pesticide mixtures: an update. **Archives of Toxicology**, v. 91, n. 10, p. 3211–3223, 1 out. 2017.

HOEKSTRA, A. Y. *et al.* **The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard**. Londres/Washington, earthscan, 223 p., 2011.

IBGE. **Casa Nova - Panorama**. Disponível em:  
<<https://cidades.ibge.gov.br/?codmun=290720&r=2>>. Acesso em: 9 jan. 2023.

IUPAC. **Pesticides Properties DataBase (PPDB)**. Disponível em:  
<<https://sitem.herts.ac.uk/aeru/iupac/index.htm>>. Acesso em: 31 mar. 2023.

LIMA, Lúcia Oliveira *et al.* Estimativa da eficiência de um sistema de irrigação por microaspersão. In: **VII CONNEPI-Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação**. 2012.

LIMA, R. J. DE; SOUSA, E. P. DE. Desenvolvimento rural dos municípios da Região Integrada Petrolina (Pe)-Juazeiro (BA). **Ciências Econômicas**, v. XIV, n. 23, p. 1–18, 2017.

MAIA, C. E. Qualidade ambiental em solo com diferentes ciclos de cultivo do meloeiro irrigado. **Ciência Rural**, v. 43, n. 4, p. 603–609, 2013.

MAPA. **Sistema de agrotóxicos fitossanitários**. Disponível em:  
<[https://extranet.agricultura.gov.br/agrofit\\_cons/principal\\_agrofit\\_cons](https://extranet.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons)>. Acesso em: 31 maio. 2023.

MENDES, K. F. *et al.* Water Resource Pollution by Herbicide Residues. Em: **Biochemical Toxicology - Heavy Metals and Nanomaterials**. London, UK: IntechOpen, 2019. p. 1–16.

MENDONÇA, V. *et al.* Florescimento e frutificação de mangueira com uso de Paclobutrazol, Etephon e Nitrato de Cálcio. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 23, n. 2, p. 265–269, ago. 2001.

MENDONÇA, V. *et al.* Utilização do Paclobutrazol, Etephon e Nitrato de Potássio na indução floral da mangueira no semi-árido nordestino. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 27, n. 6, p. 1285–1292, dez. 2003.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017**. Brasil Ministério da Saúde - Gabinete do Ministro, 28 set. 2017. Disponível em:  
<[http://portalsinan.saude.gov.br/images/documentos/Legislacoes/Portaria\\_Consolidacao\\_5\\_28\\_SETEMBRO\\_2017.pdf](http://portalsinan.saude.gov.br/images/documentos/Legislacoes/Portaria_Consolidacao_5_28_SETEMBRO_2017.pdf)>. Acesso em: 19 jun. 2023.

MINISTÉRIO DA SAÚDE; FIOCRUZ. **Presença de agrotóxicos em água potável no Brasil: Parecer técnico do GT de Agrotóxicos da Fiocruz para a Revisão do Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 05**. 2017.

MOUCO, M. A. DO C. *et al.* Manejo da Cultura da Manga. 2011. 190–233.

MOUCO, M. A. DO C.; ALBUQUERQUE, J. A. S. Efeito do Paclobutrazol em duas épocas de produção da mangueira. **Bragantia**, v. 64, n. 2, p. 219–225, 2005.

NOVELLI, A. **Efeito do Vertimec® 18CE e de seu princípio ativo, a Abamectina, em ambiente aquático: uma análise laboratorial e in situ**. Tese de Doutorado—São Carlos: Universidade de São Paulo, 2010.

OLIVEIRA, G. P. Uso do Paclobutrazol na produção de manga. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, p. e939975183, 16 jun. 2020.

PARAÍBA, L. C. *et al.* A mathematical model to estimate the volume of grey water of pesticide mixtures. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v. 12, n. 2, p. 509, 1 abr. 2014.

PINHEIRO, A.; RIVAIL DA SILVA, M.; KRAISCH, R. Presença de pesticidas em águas superficiais e subterrâneas na bacia do Itajaí, SC. **REGA**, v. 7, n. 2, p. 17–26, dez. 2010.

QUEIROZ, A. F. DE. **Caracterização e classificação de solos do município de Casa Nova - BA para fins de uso, manejo e conservação**. Dissertação—Mossoró: Universidade Federal Rural do Semiárido, 2013.

QUEIROZ, A. F. DE *et al.* **Qualidade química e física de dois solos da região produtora de olerícolas em Casa Nova-BA**. XXXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. **Anais...** Florianópolis: XXXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, ago. 2013.

SANTOS, H. G. DOS; EMBRAPA SOLOS. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SANTOS, N. G. N. DOS. **Caracterização de solos do município de Sobradinho-BA para fins de uso, manejo e conservação**. Dissertação—Juazeiro: Universidade Federal do Vale do São Francisco, 2015.

SILVA, B. L. F. **Levantamento do uso de agrotóxicos no Vale do São Francisco**. Trabalho de Conclusão de Curso—Petrolina: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, 2022.

SILVA, D. J. *et al.* **Nutrição Mineral e Adubação da Mangueira em Condições Irrigadas**. Petrolina: Embrapa, 2004.

SIQUEIRA, B. B.; BRESSIANI, T. S. C. O uso de agrotóxicos e os impactos na saúde do trabalhador rural: uma revisão sobre o herbicida glifosato. **Revista Vértices**, v. 25, n. 2, 26 maio 2023.

TEIXEIRA, A. H. DE C. *et al.* Energy and water balance measurements for water productivity analysis in irrigated mango trees, Northeast Brazil. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 148, n. 10, p. 1524–1537, 3 set. 2008.

TEIXEIRA, P. C. *et al.* **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3. ed. Brasília: Embrapa Solos, 2017.

VALE, R. L. *et al.* Assessment of the gray water footprint of the pesticide mixture in a soil cultivated with sugarcane in the northern area of the State of Pernambuco, Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 234, p. 925–932, 2019.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O solo da região de estudo é arenoso, o que o torna mais vulnerável para a lixiviação. No entanto, de acordo com a avaliação da contaminação potencial dos corpos hídricos pelos agrotóxicos aplicados na cultura realizada por meio do Índice de GUS e do método de GOSS, os princípios ativos que foram aplicados na cultura de manga Tommy Atkins possuem baixo potencial de contaminação das águas subterrâneas por lixiviação e apresentam de baixo a médio risco de contaminar os corpos hídricos superficiais.

Com base na estimativa da pegada hídrica cinza, considerando os dois modelos aplicados, o VAC das misturas de agrotóxicos aplicadas na cultura de manga Tommy Atkins foi elevado, na ordem de grandeza de  $10^6$  m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> para o H-model e de  $10^7$  m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> para o P-model. É possível concluir que o P-model é mais conservador do meio ambiente, por levar em consideração a toxicidade dos princípios ativos e superestimar o valor de VAC.

Não existem trabalhos na região que tenham realizado a estimativa da pegada hídrica cinza para a mistura de agrotóxicos em cultura de manga Tommy Atkins para fins de comparação, de modo que os resultados encontrados neste estudo podem ser uma ferramenta importante para a escolha de agrotóxicos menos poluentes a serem aplicados na cultura.

Para a redução da quantidade de agrotóxicos que é aplicada na cultura da mangueira deve-se buscar a utilização de técnicas mais sustentáveis de manejo e de controle de pragas, um bom exemplo que já é aplicado na região é o projeto Moscamed, que pode substituir a utilização de inseticidas, como o Deltametrina, para o combate das moscas-das-frutas, o que reduziria a pegada hídrica cinza da cultura. Ainda é possível pensar em combinar diferentes agrotóxicos para reduzir a dose dos agrotóxicos mais poluentes, como é o caso de combinar o PBZ e o Etefom ou o Etefom com o estresse hídrico para a indução floral da manga.

Por fim, dada a complexidade do tema e a importância do Vale Submédio São Francisco na produção da fruticultura irrigada, sugere-se realizar novos estudos na região para identificar os impactos ambientais negativos provenientes do cultivo e discutir soluções mais sustentáveis para a região. Inclusive, realizar o cálculo da Pegada Hídrica Cinza em outras parcelas de cultivo e analisar os resíduos de agrotóxicos no solo, na água e nos frutos produzidos, se possível.

Ainda, a literatura já aponta que resíduos de agrotóxicos estão sendo encontrados ao analisar os corpos hídricos de todo o país, inclusive no Rio São Francisco e seus afluentes. Haja vista a proximidade da área de estudo com o Rio São Francisco, é recomendado que sejam feitas análises da água para observar se os princípios ativos aplicados nas culturas da região podem

ser encontrados na água. Para a cultura de manga, é importante o monitoramento do Paclobutrazol, por ser aplicado em altas doses, apresentar alto risco para as águas subterrâneas, alto risco para a contaminação das águas superficiais na forma dissolvida em água e gerar um elevado *VAC* e por ser importante na indução floral, que garante o sucesso da produção de manga no Vale do São Francisco. Além disso, faz-se importante também o monitoramento do Difenoconazol, Tebuconazol e Azoxistrobina por apresentarem maior risco de contaminação dos corpos hídricos e do Clorpirifós pela elevada toxicidade.

## ANEXO

**Relatório de aplicações das misturas de agrotóxicos na parcela 17, de aproximadamente quatro hectares, de cultivo de manga Tommy Atkins.**

APLICAÇÕES PARCELA 17, NOS ANOS DE 2021 E 2022.

DATA	APLICAÇÃO	PRODUTO	PRÍNCIPIO ATIVO	DOSAGEM APLICADA	FASE DA CULTURA
11/01/2021	1	Bulk		2,21 L/ha	MATURAÇÃO DE RAMOS
		Theion		4,43 Kg/ha	
		Agrex Espalhante		0,22 L/ha	
18/01/2021	2	Bulk		1,66 L/ha	MATURAÇÃO DE RAMOS
		Theion		3,32 kg/ha	
		Agrex Espalhante		0,16 L/ha	
03/02/2021	3	Nitrato de Potássio		24,94 kg/ha	INDUÇÃO FLORAL
		Ethrel 720	Etefom	0,06 L/ha	
		Agrex Óleo Vegetal		0,33 L/ha	
08/02/2021	4	Nitrato de Potássio		24,94 kg/ha	INDUÇÃO FLORAL
		Ethrel 720	Etefom	0,16 L/ha	
		Agrex óleo Abamex		0,66 L/ha 0,33 L/ha	
15/02/2021	5	Nitrato de Potássio		24,94 kg/ha	INDUÇÃO FLORAL
		Ethrel 720	Etefom	0,16 L/ha	
		Agrex óleo		0,66 L/ha	
24/02/2021	6	Nitrato de Cálcio		19,95 kg/ha	INDUÇÃO FLORAL
		Naturamin		0,33 kg/ha	
		Glutamin		1,66 L/ha	
01/03/2021	7	Algamare		1,66 L/ha	INDUÇÃO FLORAL
		Ager Cálcio		1,66 L/ha	
		Nitrato de Cálcio		19,95 kg/ha	
09/03/2021	8	Rival 200 EC	Tebuconasol	0,66 L/ha	PRÉ FLORAÇÃO
		Kaiso 250 Cs	Lambda-Cialotrina	0,03 L/ha	
		Citrolin		0,66 L/ha	
17/03/2021	9	Nitrato de Cálcio		16,62 kg/ha	PRÉ FLORAÇÃO
		Naturamin		0,33 kg/ha	
		Glutamin		1,66 L/ha	
22/03/2021	10	Algamare		1,66 L/ha	FLORAÇÃO PLENA
		Recop	Oxicloreto de Cobre	1,66 kg/ha	
		Kaiso 250 Cs	Lambda-Cialotrina	0,03 L/ha	
22/03/2021	10	Agrex Espalhante		0,16 L/ha	FLORAÇÃO PLENA
		Nitrato de Cálcio		8,31 kg/ha	
		Rival 200 EC	Tebuconasol	0,66 L/ha	
22/03/2021	10	Trivor	Acetamiprido	0,19 L/ha	FLORAÇÃO PLENA
		Agrex Espalhante		0,16 L/ha	

<b>03/05/2022</b>	48	Nitrato de Cálcio Rival 200 Ec Tracer Agrex Espalhante	Tebuconazol Espinosade	16,62 kg/ha 0,66 L/ha 0,13 L/ha 0,16 L/ha	<b>PRÉ FLORAÇÃO</b>
<b>10/05/2022</b>	49	Nitrato de Cálcio Score Vantigo Decis 25 Ec Mag Flor Agrex Espalhante	Difenoconazol Azoxistrobina Deltametrina	13,30 kg/ha 0,33 L/ha 0,09 kg/ha 0,33 L/ha 0,66 L/ha 0,16 L/ha	<b>FLORAÇÃO PLENA</b>
<b>24/05/2022</b>	50	Nitrato de Cálcio Score Vantigo Tracer	Difenoconazol Azoxistrobina Espinosade	13,30 kg/ha 0,33 L/ha 0,09 kg/ha 0,13 L/ha	<b>FLORAÇÃO PLENA</b>
<b>30/05/2022</b>	51	Nitrato de Cálcio Ortus 50 Sc Tracer CAB	Fenpiroximato Espinosade	6,65 kg/ha 0,66 L/ha 0,13 L/ha 0,33 L/ha	<b>FLORAÇÃO PLENA</b>
<b>03/06/2022</b>	52	Tracer Orobor N1 Abamex Score	Espinosade Abamectina Difenoconazol	0,13 L/ha 0,66 L/ha 0,33 L/ha 0,33 L/ha	<b>FIM DA FLORAÇÃO</b>
<b>10/06/2022</b>	53	Vantigo Kaiso 250 Cs	Azoxistrobina Lambda- Cialotrina	0,09 kg/ha 0,03 L/ha	<b>DESENV. FRUTO</b>
<b>17/06/2022</b>	54	Tracer Rival 200 Ec	Espinosade Tebuconazol	0,13 L/ha 0,66 L/ha	<b>DESENV. FRUTO</b>
<b>21/06/2022</b>	55	Tracer Orobor Vantigo	Espinosade Azoxistrobina	0,13 L/ha 0,66 L/ha 0,09 kg/ha	<b>DESENV. FRUTO</b>
<b>29/06/2022</b>	56	Score Abamex Kaiso 250 Cs Orobor N1	Difenoconazol Abamectina Lambda- Cialotrina	0,33 L/ha 0,33 L/ha 0,03 L/ha 0,66 L/ha	<b>DESENV. FRUTO</b>
<b>15/07/2022</b>	57	Decis 25 Ec Rival 200 Ec Abamex Óleo vegetal	Deltametrina Tebuconazol Abamectina	0,66 L/ha 0,66 L/ha 0,33 L/ha 1,66 L/ha	<b>DESENV. FRUTO</b>
<b>21/07/2022</b>	58	Kaiso 250 Cs Rival 200 Ec	Lambda- Cialotrina Tebuconazol	0,03 L/ha 0,66 L/ha	<b>DESENV. FRUTO</b>
<b>26/07/2022</b>	59	Tracer Orobor Vantigo	Espinosade Azoxistrobina	0,13 L/ha 1,33 L/ha 0,09 kg/ha	<b>DESENV. FRUTO</b>
<b>05/08/2022</b>	60	Tracer Orobor Vantigo	Espinosade Azoxistrobina	0,09 L/ha 1,33 L/ha 0,09 kg/ha	<b>DESENV. FRUTO</b>
<b>23/08/2022</b>	61	Tracer Orobor Rival 200 Ec Abamex	Espinosade Tebuconazol Abamectina	0,09 L/ha 0,66 L/ha 0,66 L/ha 0,33 L/ha	<b>DESENV. FRUTO</b>

16/02/2022	37	Bulk Theion Agrex Espalhante		1,66 L/ha 3,32 kg/ha 0,16 L/ha	<b>MATURAÇÃO DE RAMOS</b>
25/02/2022	38	Sulf. K Ethrel 720 Agrex Espalhante	Etefom	3,32 L/ha 0,06 L/ha 0,16 L/ha	<b>MATURAÇÃO DE RAMOS</b>
10/03/2022	39	K Bomber Ethrel 720 Agrex Espalhante	Etefom	1,66 kg/ha 0,16 L/ha 0,16 L/ha	<b>MATURAÇÃO DE RAMOS</b>
15/03/2022	40	Crucial Fascinate	Glifosato Glufosinato	3,32 L/ha 3,32 L/ha	<b>MATURAÇÃO DE RAMOS</b>
17/03/2022	41	Nitrato de Potássio Ethrel 720 Agrex Espalhante	Etefom	24,94 kg/ha 0,16 L/ha 0,16 L/ha	<b>INDUÇÃO FLORAL</b>
25/03/2022	42	Nitrato de Cálcio Ethrel 720 Agrex Espalhante	Etefom	24,94 kg/ha 0,16 L/ha 0,16 L/ha	<b>INDUÇÃO FLORAL</b>
31/03/2022	43	Nitrato de Potássio Ethrel 720 Theion Agrex Espalhante	Etefom	24,94 kg/ha 0,16 L/ha 3,32 kg/ha 0,16 L/ha	<b>INDUÇÃO FLORAL</b>
07/04/2022	44	Nitrato de Cálcio Naturamin Abamex Kaiso 250 Cs Agrex Óleo Vegetal	Abamectina Lambda- Cialotrina	24,94 kg/ha 0,33 kg/ha 0,33 L/ha 0,03 L/ha 3,32 L/ha	<b>INDUÇÃO FLORAL</b>
12/04/2022	45	Nitrato de Cálcio Naturamin Algamare Mag Flor Rival 200 Ec Kaiso 250 Cs	Tebuconazol Lambda- Cialotrina	19,95 kg/ha 0,33 kg/ha 1,66 L/ha 0,66 L/ha 0,66 L/ha 0,03 L/ha	<b>INDUÇÃO FLORAL</b>
21/04/2022	46	Nitrato de Cálcio Naturamin Algamare Glutamin Kaiso 250 Cs Orobor N1 Abamex	Lambda- Cialotrina Abamectina	16,62 kg/ha 0,33 kg/ha 1,66 L/ha 1,66 L/ha 0,03 L/ha 0,66 L/ha 0,33 L/ha	<b>INDUÇÃO FLORAL</b>
26/04/2022	47	Nitrato de Cálcio Derruba Recop Score Abamex Agrex Espalhante	Oxicloreto de Cobre Difenoconazol Abamectina	13,30 kg/ha 0,66 L/ha 1,66 kg/ha 0,33 L/ha 0,33 L/ha 0,16 L/ha	<b>PRÉ FLORAÇÃO</b>

		Agrex Espalhante		0,16 L/ha	
<b>08/09/2021</b>	24	Bio Fruit Kaiso 250 Cs	Lambda- Cialotrina	19,95 L/ha 0,03 L/ha	<b>REPOUSO</b>
<b>16/09/2021</b>	25	Uréia Sulfato de Magnésio Amino Plus Naturamin Burke		8,31 kg/ha 3,32 kg/ha 0,66 L/ha 0,33 kg/ha 0,66 L/ha	<b>CRESCIMENTO VEGETATIVO</b>
<b>30/09/2021</b>	26	Crucial Patrol	Glifosato Glufosinato	3,32 L/ha 3,32 L/ha	<b>CRESCIMENTO VEGETATIVO</b>
<b>11/10/2021</b>	27	Uréia Sulfato de Magnésio Amino Plus Kaiso 250 Cs Agrex Espalhante		8,31 kg/ha 3,32 kg/ha 0,99 L/ha 0,03 L/ha 0,16 L/ha	<b>CRESCIMENTO VEGETATIVO</b>
<b>25/10/2021</b>	28	Trivor Sulf. Magnésio Uréia Microcomplex Agrex Espalhante	Acetamiprido	0,19 L/ha 3,32 kg/ha 8,31 kg/ha 0,33 kg/ha 0,16 L/ha	<b>CRESCIMENTO VEGETATIVO</b>
<b>03/11/2021</b>	29	Uréia Vantigo Kaiso 250 Cs Abamex Agrex Espalhante	Azoxistrobina Lambda- Cialotrina Abamectina	3,32 kg/ha 0,09 kg/ha 0,03 L/ha 0,33 L/ha 0,16 L/ha	<b>CRESCIMENTO VEGETATIVO</b>
<b>17/11/2021</b>	30	Sulf. Magnésio Uréia Sulfato de Zinco Amino Plus Kaiso 250 Cs Abamex Agrex Espalhante	Lambda- Cialotrina Abamectina	3,32 kg/ha 8,31 kg/ha 1,66 kg/ha 0,99 L/ha 0,03 L/ha 0,33 L/ha 0,16 L/ha	<b>CRESCIMENTO VEGETATIVO</b>
<b>24/11/2021</b>	31	Trivor Agrex Espalhante	Acetamiprido	0,19 L/ha 0,16 L/ha	<b>CRESCIMENTO VEGETATIVO</b>
<b>08/12/2021</b>	32	Trivor Agrex Espalhante	Acetamiprido	0,19 L/ha 0,16 L/ha	<b>CRESCIMENTO VEGETATIVO</b>
<b>16/12/2021</b>	33	Cultar 250 Sc Amino Agromol Amino Plus	Paclobutrazol	7,09 L/ha 1,77 L/ha 1,77 L/ha	<b>CRESCIMENTO VEGETATIVO</b>
<b>05/01/2022</b>	34	Kaiso 250 Cs Agrex Espalhante	Lambda- Cialotrina	0,03 L/ha 0,16 L/ha	
<b>27/01/2022</b>	35	Bulk Theion Agrex Espalhante		1,66 L/ha 3,32 kg/ha 0,16 L/ha	<b>MATURAÇÃO DE RAMOS</b>
<b>03/02/2022</b>	36	Bulk Theion Agrex Espalhante		1,66 L/ha 3,32 kg/ha 0,16 L/ha	<b>MATURAÇÃO DE RAMOS</b>

29/03/2021	11	Recop Kaiso 250 Cs Agrex Espalhante	Oxicloreto de Cobre Lambda- Cialotrina	1,66 kg/ha 0,03 L/ha 0,16 L/ha	FLORAÇÃO PLENA
06/04/2021	12	Trivor Vantigo Agrex Espalhante	Acetamiprido Azoxistrobina	0,19 L/ha 0,09 kg/ha 0,16 L/ha	FLORAÇÃO PLENA
12/04/2021	13	Tracer Biobim Rival 200 Ec Agrex Espalhante	Espinosade Tebuconazol	0,13 L/ha 0,33 L/ha 0,66 L/ha 0,16 L/ha	FIM DA FLORAÇÃO
19/04/2021	14	Kaiso 250 Cs Score Cab Agrex Espalhante	Lambda- Cialotrina Difenoconazol	0,03 L/ha 0,33 L/ha 0,66 L/ha 0,16 L/ha	DESENV. FRUTO
29/04/2021	15	Kaiso 250 Cs Abamex Orobor	Lambda- Cialotrina Abamectina	0,03 L/ha 0,33 L/ha 0,66 L/ha	DESENV. FRUTO
19/05/2021	16	Kaiso 250 Cs Orobor Abamex Rival 200 Ec Agrex Espalhante	Lambda- Cialotrina Abamectina Tebuconazol	0,03 L/ha 0,66 L/ha 0,33 L/ha 0,66 L/ha 0,16 L/ha	DESENV. FRUTO
27/05/2021	17	Kaiso 250 Cs Vantigo Score Abamex Orobor	Lambda- Cialotrina Azoxistrobina Difenoconazol Abamectina	0,03 L/ha 0,09 kg/ha 0,33 L/ha 0,33 L/ha 0,66 L/ha	DESENV. FRUTO
14/06/2021	18	Tracer Rival 200 Ec Agrex Espalhante	Espinosade Tebuconazol	0,13 L/ha 0,66 L/ha 0,16 L/ha	DESENV. FRUTO
21/06/2021	19	Score Abamex Orobor Kaiso 250 Cs	Difenoconazol Abamectina Lambda- Cialotrina	0,33 L/ha 0,33 L/ha 0,66L/ha 0,03 L/ha	DESENV. FRUTO
09/07/2021	20	Tracer Score Vantigo Agrex Espalhante	Espinosade Difenoconazol Azoxistrobina	0,13 L/ha 0,33 L/ha 0,09 kg/ha 0,16 L/ha	DESENV. FRUTO
13/07/2021	21	K. Fol Rival 200 Ec Kaiso 250 Cs Agrex Espalhante	Tebuconazol Lambda- Cialotrina	1,33 kg/ha 0,66 L/ha 0,03 L/ha 0,16 L/ha	DESENV. FRUTO
19/07/2021	22	K. Fol Score Vantigo Agrex Espalhante	Difenoconazol Azoxistrobina	1,33 kg/ha 0,33 L/ha 0,09 kg/ha 0,16 L/ha	MATURAÇÃO FRUTO
28/07/2021	23	K. Fol Score	Difenoconazol	1,33 kg/ha 0,33 L/ha	MATURAÇÃO FRUTO

<b>04/10/2022</b>	62	Bio Fruit Decis 25 Ec	Deltametrina	6,65 L/ha 0,33 L/ha	<b>REPOUSO</b>
<b>08/10/2022</b>	63	Bio Fruit Tracer	Espinosade	6,65 L/ha 0,13 L/ha	<b>REPOUSO</b>
<b>18/10/2022</b>	64	Crucial Patrol	Glifosato Glufosinato	3,32 L/ha 3,32 L/ha	<b>REPOUSO</b>
<b>27/10/2022</b>	65	Mag. Flor CAB Amino Plus Recop Bio Fruit	Oxicloreto de Cobre	0,66 L/ha 0,66 L/ha 0,66 L/ha 1,66 kg/ha 3,32 L/ha	<b>CRESCIMENTO VEGETATIVO</b>
<b>03/11/2022</b>	66	Klorpan 480 Ec Bio Fruit Klorpan 480 Ec Recop Agrex Espalhante	Clorpirifós Clorpirifós Oxicloreto de Cobre	0,66 L/ha 6,65 L/ha 0,66 L/ha 1,66 kg/ha 0,16 L/ha	<b>CRESCIMENTO VEGETATIVO</b>
<b>12/12/2022</b>	67	Decis 25 Ec Bio Fruit Amino Plus Orobor Uréia	Deltametrina	0,66 L/ha 3,32 L/ha 0,66 L/ha 0,66 L/ha 8,31 kg/ha	<b>CRESCIMENTO VEGETATIVO</b>

OBS: Todas as aplicações foram misturadas.