

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CAMPUS FREDERICO WESTPHALEN  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
AMBIENTAL

Caroline Emiliano Santos

**MAPEAMENTO DE ÁREAS COM POTENCIAL DE  
CONTAMINAÇÃO POR USO DE AGROTÓXICOS E O PANORAMA  
DAS INTOXICAÇÕES EXÓGENAS NO NOROESTE DO RIO GRANDE  
DO SUL**

Frederico Westphalen, RS  
2021

**Caroline Emiliano Santos**

**MAPEAMENTO DE ÁREAS COM POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO POR USO  
DE AGROTÓXICOS E O PANORAMA DAS INTOXICAÇÕES EXÓGENAS NO  
NOROESTE DO RIO GRANDE DO SUL**

Dissertação apresentada ao curso de pós-graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Federal de Santa Maria campus Frederico Westphalen (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental.

**Orientador: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Malva Andrea Mancuso**

Frederico Westphalen, RS, Brasil  
2021

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001

Santos, Caroline Emiliano

MAPEAMENTO DE ÁREAS COM POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO POR USO DE AGROTÓXICOS E O PANORAMA DAS INTOXICAÇÕES EXÓGENAS NO NOROESTE DO RIO GRANDE DO SUL / Caroline Emiliano Santos.- 2021.

95 p.; 30 cm

Orientadora: Malva Andrea Mancuso

Coorientador: Marcos Toebe

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Campus de Frederico Westphalen, Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, RS, 2021

1. Agronegócio 2. Geotecnologias 3. Saúde I. Mancuso, Malva Andrea II. Toebe, Marcos III. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

Declaro, CAROLINE EMILIANO SANTOS, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Dissertação) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de qualquer outro grau acadêmico, estando ciente de que a inveracidade da presente declaração poderá resultar na anulação da titulação pela Universidade, entre outras consequências legais.

**Caroline Emiliano Santos**

**MAPEAMENTO DE ÁREAS COM POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO POR USO  
DE AGROTÓXICOS E O PANORAMA DAS INTOXICAÇÕES EXÓGENAS NO  
NOROESTE DO RIO GRANDE DO SUL**

Dissertação apresentada ao curso de pós-graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Federal de Santa Maria campus Frederico Westphalen (UFSM, RS), Área de Concentração em Tecnologia Ambiental, como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental**.

**Aprovado em 27 de maio de 2021:**

---

**Malva Andrea Mancuso, Dra. (UFSM)**  
(Presidente/Orientador)

---

**Leonardo Malgarejo, Dr. (ABA)**

---

**Ana Caroline Paim Benedetti, Dra. (UFSM)**

Frederico Westphalen, RS  
2021

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus bisavós Nídia Lopes Emiliano (*in memorium*) e Nabor Ribeiro Emiliano, aos meus avós e pais de criação Maria Rodrigues Emiliano e Elbio Moerci Lopes Emiliano (*in memorium*). Bem como, à minha mãe Fabiana Rodrigues Emiliano e a todas as mulheres desse país.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Universo por me proporcionar conhecer o tanto dessa vida.

Agradeço, em especial, à minha família pelo apoio e incentivo nessa caminhada acadêmica.

Agradeço pelo incentivo, força e coragem transmitido pela minha companheira de vida Elisandra Pippi da Silva, os dias de pesquisa e pandemia seriam mais (in)tenso sem sua companhia.

Agradeço aos meus amigos, por me incentivarem em cada etapa, serem o ombro para eu lamentar meus fracassos e por celebrarem junto, cada pequena conquista a respeito da minha pesquisa e da vida, longe ou perto.

Agradeço a minha professora e orientadora, Dr<sup>a</sup> Malva Andrea Mancuso pela atenção, ensinamentos e tudo o que compõe o processo de se tornar a pesquisadora que sou. Me sinto feliz por ter escolhido uma pessoa que eu admiro e é uma inspiração nessa grande área de pesquisa, também agradeço à sua família, por me receberem em sua casa sempre que precisei.

Ao meu amigo, colega de artigos e de vivências acadêmicas Paulo Roberto Bairros da Silva, pela ajuda, colaboração e incentivo na minha caminhada acadêmica, que você continue a iluminar a vida de pesquisadores e pesquisadoras com o teu conhecimento.

Agradeço à Universidade Federal de Santa Maria campus Frederico Westphalen ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental e a todos docentes que fizeram parte dessa etapa de minha vida, agradeço também a todos os funcionários que não medem esforços para a universidade atender os anseios dos discentes.

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES pelo apoio financeiro, que mesmo com tantos cortes promovidos pelo (des)governo, luta pela classe estudantil poder realizar pesquisas no país.

Agradeço aos pioneiros da turma de pós-graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, por toda troca de conhecimento, desafios e aulas que passamos juntos. Fica minha admiração por todas as mulheres que compuseram essa turma, vocês são pesquisadoras magníficas e grandiosas.

## RESUMO

### MAPEAMENTO DE ÁREAS COM POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO POR USO DE AGROTÓXICOS E O PANORAMA DAS INTOXICAÇÕES EXÓGENAS NO NOROESTE DO RIO GRANDE DO SUL

AUTORA: Caroline Emiliano Santos  
ORIENTADORA: Malva Andrea Mancuso

As atividades agrícolas desenvolvidas com o uso de agrotóxicos podem causar contaminação do solo, água e dos seres humanos. Quando encontrado nas águas superficiais e subterrâneas utilizadas para abastecimento e diversos fins, os agrotóxicos podem desencadear intoxicações exógenas aguda ou crônica nos seres vivos. O objetivo desse estudo foi avaliar a vulnerabilidade à contaminação das águas ocasionada pelo uso de agrotóxicos através de uma base de dados com informações dos tipos de solo, das principais culturas, os principais agrotóxicos e suas características e, utilizar as geotecnologias para mapear os resultados conforme a área agrícola dos municípios; em paralelo, a pesquisa objetivou, construir o panorama das intoxicações exógenas quanto a diversas classes e indicadores, com a finalidade de investigar a situação das causas de intoxicações por agrotóxicos e produtos químicos. A base de dados formada para municípios da 2ª Coordenadoria Regional de Saúde no Noroeste do Rio Grande do Sul, foi utilizada para a realização do estudo do potencial dos agrotóxicos serem lixiviados para as águas subterrâneas, superficiais ou ser transportados dissolvidos em água, assim como a estimativa de adsorção e mobilidade dos agrotóxicos no solo, respectivamente, por meio do índice Groundwater Ubiquity Score (GUS), método de GOSS e Fator de Atenuação e Retardo (AF/RF). Para o panorama das intoxicações exógenas foi estruturada uma base de dados com fontes do DataSUS, Censo Demográfico, Censo Agro e Produção Agrícola Municipal (PAM) e a partir da utilização do software R foi aplicada a correlação de Pearson entre as variáveis e gerados gráficos para análise dos dados. Os resultados indicam que os agrotóxicos que devem ser prioritariamente monitorados são: atrazina, 2,4-D, imidaclorprido, simazina e protioconazol, por apresentarem classificação de risco médio/alto nos modelos aplicados. Contudo, a vulnerabilidade ecológica do agronegócio e voracidade econômica põe em risco a população que utiliza qualquer agrotóxico, sendo estes correlacionados com o aumento do consumo de medicamentos, incluindo também casos de intoxicações. Em relação ao panorama das intoxicações exógenas, as intoxicações ocorreram de maneira acidental, em ambiente trabalhista com exposição aguda-única, ocorrendo com maior incidência em dez anos nos municípios de Tenente Portela, Alpestre e Novo Tiradentes. Do total de 341 intoxicações registradas, 175 intoxicações são provenientes de agrotóxicos (herbicidas, fungicidas e inseticidas) e produtos químicos. Dessa forma, destaca-se a necessidade de desenvolvimento de programas de iniciativa pública que contemplem assistência técnica de forma a minimizar o impacto do uso de agrotóxicos no meio ambiente e na saúde humana.

**Palavras-Chave:** Agronegócio, Geotecnologias, Saúde.

## ABSTRACT

### MAPPING OF AREAS WITH POTENTIAL OF CONTAMINATION BY USE OF AGRICULTURALS AND THE PANORAMA OF EXOGENOUS INTOXICATIONS IN THE NORTHWEST OF RIO GRANDE DO SUL

AUTHOR: Caroline Emiliano Santos

ADVISOR: Malva Andrea Mancuso

Agricultural activities carried out with the use of pesticides can cause contamination of soil, water and human beings. When found in surface and underground water used for supply and various purposes, pesticides can trigger acute or chronic exogenous poisoning in living beings. The objective of this study was to evaluate the vulnerability to water contamination caused by the use of pesticides through a database with information on soil types, main crops, the main pesticides and their characteristics, and use geotechnologies to map the results as the agricultural area of the municipalities; in parallel, the research aimed to build the panorama of exogenous poisonings regarding different classes and indicators, in order to investigate the situation of the causes of poisoning by pesticides and chemical products. The database formed for municipalities of the 2nd Regional Health Coordination in the Northwest of Rio Grande do Sul, was used to carry out the study of the potential of pesticides to be leached into ground and surface water or to be transported dissolved in water, as well as the estimation of adsorption and mobility of pesticides in the soil, respectively, using the Groundwater Ubiquity Score (GUS), GOSS method and Attenuation and Retarding Factor (AF/RF). For the panorama of exogenous poisonings, a database was structured with sources from DataSUS, Demographic Census, Agricultural Census and Municipal Agricultural Production (PAM) and, using the R software, Pearson's correlation was applied between the variables and graphs were generated for data analysis. The results indicate that the pesticides that should be primarily monitored are: atrazine, 2,4-D, imidachlorpid, simazine and prothioconazole, as they present a medium/high risk classification in the applied models. However, the ecological vulnerability of agribusiness and economic voracity puts at risk the population that uses any pesticide, which is correlated with the increase in drug consumption, including cases of poisoning. Regarding the panorama of exogenous poisonings, poisonings occurred accidentally, in a work environment with a single acute exposure, occurring with the highest incidence in ten years in the municipalities of Tenente Portela, Alpestre and Novo Tiradentes. Of the total of 341 registered poisonings, 175 poisonings come from pesticides (herbicides, fungicides and insecticides) and chemical products. Thus, there is a need to develop public initiative programs that include technical assistance in order to minimize the impact of pesticide use on the environment and human health.

**Keywords:** Agribusiness, Geotechnologies, Health.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Classificação dos agrotóxicos de acordo com a ANVISA.....	15
Figura 2 - Principais processos que governam o destino do agrotóxico no compartimento solo/água.....	16
Figura 3 - Principais fontes de contaminação por agrotóxico sobre o corpo humano.....	18
Figura 4 - Demonstração do SIG na área da agricultura.....	20
Figura 5 - Demonstração esquemática sobre as fases de intoxicação.....	22
<b>CAPÍTULO 1 - ESTIMATIVA DO POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E SUPERFICIAIS POR AGROTÓXICOS NO NOROESTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL</b>	
Figura 1 - Municípios objeto do estudo, pertencentes a região noroeste do Estado do Rio Grande do Sul e percentual de áreas plantadas, em relação a área total do município .....	28
Figura 2 - Mapa de Uso e Ocupação do Solo da fração da Região Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul objeto deste estudo. Construído a partir de PROJETO MapBiomias (2019) ....	29
Figura 3 - Variáveis utilizadas em raster para cálculo de AF/RF na área de objeto do estudo.	38
Figura 4 - Precipitação média anual do noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, estimada a partir de dados de precipitação anual de um período de 30 anos (de 1988 a 2018). .....	39
Figura 5 - Espacialização de espessuras da zona não saturada (profundidade do nível freático) considerando espessuras mínimas de 0 m (em nascentes e corpos hídricos) e máximas de 25 m (em zonas de topos de morro) na região noroeste do Estado do Rio Grande do Sul.....	40
Figura 6 - Fator de Retardo estimado com base na mobilidade dos dez agrotóxicos de maior relevância aplicados em solos agrícolas no noroeste do Estado do Rio Grande do Sul .....	44
Figura 7 - Fator de Atenuação (AF) estimado com base no potencial de lixiviação dos dez agrotóxicos de maior relevância aplicados em solos agrícolas na região de estudo no noroeste do Estado do Rio Grande do Sul.....	45
<b>CAPÍTULO 2 - USO DE AGROTÓXICOS E O PANORAMA DAS INTOXICAÇÕES EXÓGENAS NO NOROESTE DO RIO GRANDE DO SUL</b>	
Figura 1 Classificação da toxicidade conforme ANVISA, 2019.....	63
Figura 2 Municípios da Região do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul com predomínio de agricultura familiar e que compõem este estudo sobre intoxicações exógenas. ....	66
Figura 3 Relação entre área plantada (ha) e área total (ha) de municípios da região Noroeste do Rio Grande do Sul (IBGE, 2018).....	67
Figura 4 Evolução do número de intoxicações exógenas no período de 2009-2018 em municípios do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul.....	69
Figura 5 Matriz de correlação entre as variáveis da Tabela 2, construídas a partir de fonte de dados: DataSUS (2020), IBGE (2010) e IBGE (2017), para os municípios do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Legenda conforme Tabela 2.....	73
Figura 6 Relação entre Municípios, Número de Intoxicações e População Rural de municípios localizados na região noroeste do Rio Grande do Sul. ....	74
Figura 7 Relação entre Municípios, Número de Intoxicações e Agricultura Familiar (em percentual de toda a agricultura) em municípios localizados na região noroeste do Rio Grande do Sul. ....	74
Figura 8 Relação entre Município, Número de Intoxicações e Número de Estabelecimentos Rurais em municípios localizados na região noroeste do Rio Grande do Sul. ....	75
Figura 9 Relação entre Município, Número de Intoxicações e Assistência Técnica (em %) de municípios localizados no noroeste do Rio Grande do Sul. ....	76

## LISTA DE TABELAS

### **CAPÍTULO 1 - ESTIMATIVA DO POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E SUPERFICIAIS POR AGROTÓXICOS NO NOROESTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL**

Tabela 1 - Quantidade de agrotóxicos (L/ano ou kg/ano) utilizados no ano de 2018 em municípios do noroeste do Rio Grande do Sul. Fonte: Rio Grande do Sul (2019).....	31
Tabela 2 - Método de GOSS para avaliar o potencial de contaminação das águas superficiais e sedimentos.....	33
Tabela 3 - Parâmetros de coeficiente de adsorção à matéria orgânica do solo ( $K_{oc}$ ), constante da Lei de Henry ( $K_H$ ), tempo de meia vida do agrotóxico no solo ( $T_{1/2}$ ) e solubilidade (mg/L) dos agrotóxicos mais utilizados na região de estudo, pertencente a fração do noroeste do RS. ....	33
Tabela 4 - Características do solo utilizados para os cálculos dos Fatores de Atenuação e de Retardo.....	35
Tabela 5 - Classificação do Fator de Retardo, de acordo com o potencial de adsorção e classificação do Fator de Atenuação, conforme o potencial de lixiviação .....	37
Tabela 6 - Potencial de transporte de agrotóxicos aplicados em municípios do noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, nas águas superficiais e associados aos sedimentos, de acordo com o método de GOSS.....	41
Tabela 7 - Potencial de contaminação das águas subterrâneas pelos principais agrotóxicos utilizados no noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, estimado de acordo com o índice de GUS.....	42
Tabela 8 - Sumarização dos resultados para comparativo de metodologias na área de estudo	46

### **CAPÍTULO 2 - USO DE AGROTÓXICOS E O PANORAMA DAS INTOXICAÇÕES EXÓGENAS NO NOROESTE DO RIO GRANDE DO SUL**

Tabela 1 - Informações sobre aumento/redução da população e cálculo da incidência de intoxicações para os municípios em estudo na região Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul em uma análise de 10 anos (IBGE, 2021; DataSUS, 2020).....	70
Tabela 2 - Informações sobre os municípios do Noroeste do Rio Grande do Sul quanto à intoxicações, população, atividade econômica, uso de terras, assistência técnica, número de estabelecimentos rurais e agricultura familiar. ....	71

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
1.1	OBJETIVOS .....	13
1.1.1	Objetivo geral .....	13
1.1.2	Objetivos específicos .....	13
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>14</b>
2.1	AGROTÓXICOS .....	14
2.1.1	Conceito e Classificação.....	14
2.1.2	Agrotóxicos como poluentes do solo e de recursos hídricos .....	15
2.1.3	Relação entre agrotóxicos e intoxicações .....	17
2.2	GEOTECNOLOGIAS .....	19
2.3	INTOXICAÇÕES EXÓGENAS .....	21
<b>3</b>	<b>CAPÍTULO 1 – ESTIMATIVA DO POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO DAS</b> <b>ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E SUPERFICIAIS POR AGROTÓXICOS NO</b> <b>NOROESTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL</b> .....	<b>23</b>
<b>4</b>	<b>CAPÍTULO 2 – USO DE AGROTÓXICOS E O PANORAMA DAS</b> <b>INTOXICAÇÕES EXÓGENAS NO NOROESTE DO RIO GRANDE DO SUL</b> .....	<b>62</b>
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>87</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>89</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Os agrotóxicos foram inseridos no Brasil na Revolução Verde. Utilizados no controle de pragas, plantas daninhas e doenças de plantas, os grupos dessas substâncias químicas é classificados conforme o tipo de praga que combatem. Dentre os principais grupos estão os herbicidas, inseticidas, acaricidas e fungicidas (PERES et al., 2003). Contudo, o uso indiscriminado desses produtos no solo, apesar de reduzir grande parte das perdas agrícolas para pragas, plantas daninhas e doenças, também resulta numa série de problemas, como o surgimento de patógenos mais resistentes, degradação ambiental, contaminação do ar, água e solo, bem como, prejuízos à saúde humana (BELLEI, 2017; NOVAIS et al., 2021).

No Brasil, o comércio de agrotóxicos atingiu a produção nacional de 563.603 toneladas de ingredientes ativos e importou 447.482 toneladas em 2019. A Região Sul do Brasil registrou no mesmo ano a comercialização de 150.450 toneladas de agrotóxicos, sendo o Rio Grande do Sul o maior comerciante com cerca de 74.300 toneladas (IBAMA, 2020). Como efeito do uso desenfreado dessas substâncias químicas, pesquisas apontam a sua presença no solo em variadas quantidades de acordo com a cultura, derivas do produto que podem atingir culturas não desejáveis e o escoamento dos agrotóxicos para as águas, que pode comprometer a população que depende desse recurso (FAN et al., 2018).

No que se refere a saúde humana, o emprego de agrotóxicos pode provocar dois tipos de efeitos: 1) efeitos agudos, ou aqueles resultantes da exposição a concentrações de um ou mais agentes tóxicos capazes de causar efetivo aparente em um período de 24 horas, como: náuseas, tontura, irritação na pele e rosto, dificuldade respiratória, convulsões e até mesmo, morte; 2) efeitos crônicos, ou aqueles resultantes de uma exposição continuada a doses relativamente baixas de um ou mais produtos, podendo causar: alterações imunológicas, malformação congênita, câncer e demais efeitos deletérios sobre o trato gastrointestinal, sistema respiratório, sistema nervoso, endócrino, reprodutivo, etc (PERES et al., 2003). Uma vez aplicado ao solo, o agrotóxico pode se difundir, se movimentar pelo fluxo de massa, sofrer bioacumulação ou biomagnificação (HUNTER; STABE, 1972; ROSA et al., 2011).

Deste modo, os cuidados com os recursos hídricos utilizados para o abastecimento da população tornam-se essenciais, principalmente visando a qualidade de vida tanto no meio rural quanto urbano. Para isso, é necessária uma avaliação criteriosa sobre o potencial de lixiviação dos agrotóxicos em direção às águas superficiais e subterrâneas. Em decorrência disso, foram desenvolvidos modelos que geram estimativas e quando aliadas à geotecnologia, podem

permitir através de características ambientais, a classificação do potencial de contaminação dos compartimentos solo e água (RAO et al., 1985; GUSTAFON, 1989; GOSS, 1992).

Sabe-se que atualmente as ferramentas geotecnológicas já estão inseridas no setor ambiental, uma vez que o Sistema de Informação Geográfica (SIG) colabora para que os dados coletados sejam interpretados no espaço geográfico de maneira representativa (AQUINO; VALLADARES, 2013). Este é o caso do índice de Groundwater Ubiquity Score (GUS) que estima o potencial do agrotóxico lixiviar para as águas subterrâneas, do método de GOSS que está relacionado ao potencial do agrotóxico ser transportado para as águas superficiais ou associados ao sedimento e também ao Fator de Retardo e Atenuação, que estima o potencial do agrotóxico ficar retido ao solo ou ser lixiviado para as águas subterrâneas, respectivamente. Assim, ações positivas sobre o uso dessa técnica já foram relatadas, colaborando com a minimização da variabilidade espacial e temporal que se tem na lixiviação dos agrotóxicos, bem como, identificando os produtos que devem ter prioridade de monitoramento em análises laboratoriais, diminuindo gastos de dinheiro público em análises de menor importância (WORRAL, BESIEN; KOLPIN, 2002; ANDRADE et al., 2011).

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo geral

Avaliar a vulnerabilidade à contaminação das águas ocasionada pelo uso de agrotóxicos em municípios abrangidos pela 2ª Coordenadoria Regional de Saúde, localizados no Noroeste do Rio Grande do Sul. Bem como analisar dados de intoxicações exógenas, em especial, intoxicações por agrotóxico e produtos químicos na região.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- a) Elencar os dez agrotóxicos mais aplicados no ano de 2018, bem como suas características químicas;
- b) Espacializar e caracterizar, do ponto de vista físico-químico, os tipos de solo do Noroeste do Rio Grande do Sul;
- c) Mapear as áreas com potencial de contaminação por agrotóxicos, mediante a aplicação de métodos de estimativa de contaminação das águas;
- d) Construir uma base de dados de intoxicações exógenas, demográfica e das atividades econômicas da região abrangida pela 2ª Coordenadoria da Saúde do RS;

- e) Analisar a inter-relação entre variáveis de intoxicações exógenas, de elementos demográficos e de atividades econômicas.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 AGROTÓXICOS**

#### **2.1.1 Conceito e Classificação**

A Revolução Verde (entre as décadas de 60 e 70), responsável pela expansão e modernização da agricultura condicionou aos agricultores o uso de agrotóxicos, através do crédito agrícola (DELGADO, 2005). O incentivo do governo ao consumo de agrotóxicos ocorreu em 1975 através do Programa Nacional de Defensivos Agrícolas (PNDA), intensificando o uso destes produtos no país. A mencionada política fomentou, então, a adoção de medidas como isenção de impostos e taxas de importação, além da ampliação do crédito agrícola subsidiado (BULL; HATHAWAY, 1986).

Agrotóxico é o termo usado para os insumos químicos aplicados na agricultura, definido pela Lei Federal nº 7.802, de 11 de julho de 1989, regulamentada pelo decreto nº 98.816, no seu artigo 2, inciso 1, como:

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; substâncias e produtos, empregados como desfolhantes, dessecantes, estimuladores e inibidores de crescimento (BRASIL, 1989).

Dito isso, os agrotóxicos são classificados de acordo com a praga da lavoura a que se destinam a combater, sendo que no mercado existem inseticidas (principalmente para insetos em estágios de larva a adulto), herbicidas (combate a plantas daninhas ou invasoras), fungicidas (ação de combate aos fungos), dentre outros (SMIDT, 2001).

A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, 2019) através do Sistema de Classificação Globalmente Unificado (Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals- GHS), classifica os agrotóxicos em cinco categorias que expressam o grau de toxicidade (Figura 1).

Figura 1 - Classificação dos agrotóxicos de acordo com a ANVISA.

	CATEGORIA 1	CATEGORIA 2	CATEGORIA 3	CATEGORIA 4	CATEGORIA 5	NÃO CLASSIFICADO
	EXTREMAMENTE TÓXICO	ALTAMENTE TÓXICO	MODERAMENTE TÓXICO	POUCO TÓXICO	IMPROVÁVEL DE CAUSAR DANO AGUDO	NÃO CLASSIFICADO
PICTOGRAMA					Sem símbolo	Sem símbolo
PALAVRA DE ADVERTÊNCIA	PERIGO	PERIGO	PERIGO	CUIDADO	CUIDADO	Sem advertência
CLASSE DE PERIGO						
Oral	Fatal se ingerido	Fatal se ingerido	Tóxico se ingerido	Nocivo se ingerido	Pode ser perigoso se ingerido	-
Dérmica	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	-
Inalatória	Fatal se inalado	Fatal se inalado	Tóxico se inalado	Nocivo se inalado	Pode ser perigoso se inalado	-
COR DA FAIXA	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

Fonte: Anvisa (2019)

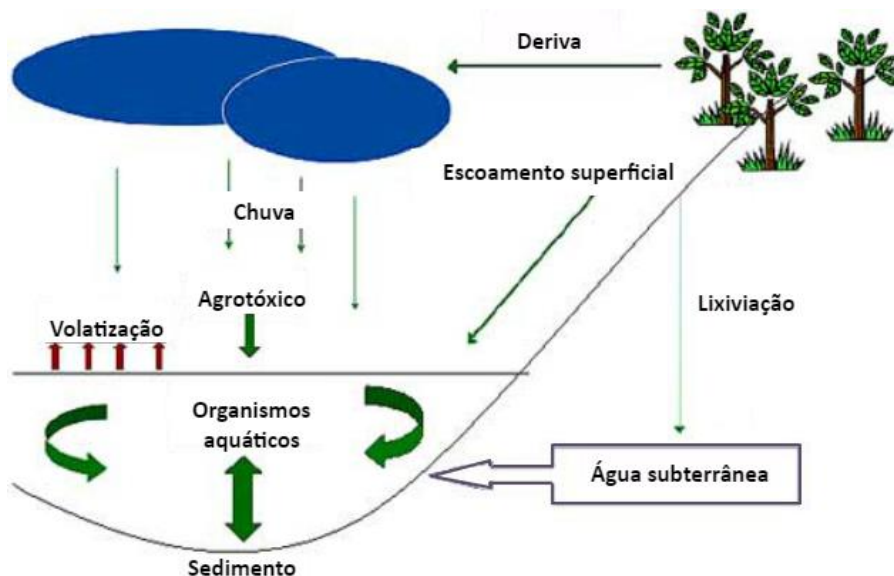
Os agrotóxicos mais utilizados na agricultura são os organofosforados e carbamatos, que possuem uma atividade inseticida muito eficiente, devido a sua característica de inibidor da enzima acetilcolinesterase no sistema nervoso, que tanto atua em insetos quanto em mamíferos (VEIGA et al., 2006).

### 2.1.2 Agrotóxicos como poluentes do solo e de recursos hídricos

O crescimento da agricultura no Brasil, é marcado pela expansão de áreas e o uso de agrotóxicos em sistemas intensivos de produção, trazendo inúmeros problemas de contaminação ao meio ambiente (TOMITA; BEYRUTH, 2002). De acordo com Veiga et al. (2006) os agrotóxicos eram vistos como estáticos, que possuíam baixa solubilidade e tinham um alto potencial de ficarem adsorvidos ao solo. Porém, conforme as modificações dos compostos químicos impostas pela tecnologia de combater pragas o mais rápido, esses passaram a ser mais voláteis. Essas modificações realizadas, aumentaram a vida útil e o potencial nocivo que os agrotóxicos trazem a saúde humana e ao meio ambiente.

Segundo Sabik, Jeannot e Rondeau (2000), a variabilidade climática no momento da aplicação de agrotóxicos nas culturas, define a porcentagem desses agrotóxicos que irá atingir efetivamente o alvo. O resíduo da aplicação do agrotóxico se torna um xenobiótico com alto potencial de se mover para outros locais, vindo a se depositar sobre plantas, solo ou ambientes aquáticos, resultando na poluição do ecossistema (Figura 2).

Figura 2 - Principais processos que governam o destino do agrotóxico no compartimento solo/água.



Fonte: Tomita e Beyruth, 2002.

Para o processo produtivo, a água é indispensável sendo que em média 70% do total de água consumida no Planeta é destinada para esse fim e, quase metade desta é desperdiçada (ANA, 2019). Contudo, agrotóxicos também são passíveis de atingir os corpos hídricos e a água subterrânea (VEIGA et al., 2006; BORTOLUZZI et al., 2007; DEMOLIER et al., 2010; TODESCHINI; FEUERHARMEL, 2010; CALDAS et al., 2010; TODESCHINI, 2013; BURILLO-PUTZE et al., 2014; WELTER, 2018). Tal situação pode comprometer o abastecimento humano (MARCHESAN et al., 2010; RUBBO; ZINI, 2017; GOMES, 2019) ou desencadear problemas de saúde ao longo dos anos (TOMITA; BEYRUTH, 2002; STEFFENS; STEFFENS; ANTOLINNI, 2011).

Nesse sentido, conhecer as propriedades do solo e dos agrotóxicos é indispensável para avaliar o potencial ou não de poluição. Características sobre tipo de solo, teores de argila, óxidos de ferro e manganês, teor de matéria orgânica, pH, CTC, área superficial específica, porosidade, capacidade de campo, umidade e composição de microrganismos colaboram com a identificação da capacidade de adsorção ou lixiviação que o agrotóxico possui em determinado solo (COSTA et al., 2004). Em relação ao agrotóxico, características como: solubilidade em água, coeficiente de partição n-octanol-água, pressão vapor e Lei de Henry, são essenciais, pois, através dessas características os agrotóxicos podem ter seu comportamento estudado (SPADOTTO; FILIZOLA; GOMES, 2001; LOURENCETTI; RIBEIRO; SANTIAGO-SILVA, 2004). Além disso, a concepção sobre acidentes e intoxicações por agrotóxicos são



importantes, pois, através da abrangência desse tema é possível compreender que a aplicação não atinge somente o alvo, mas também a saúde humana (MORO, 2008).

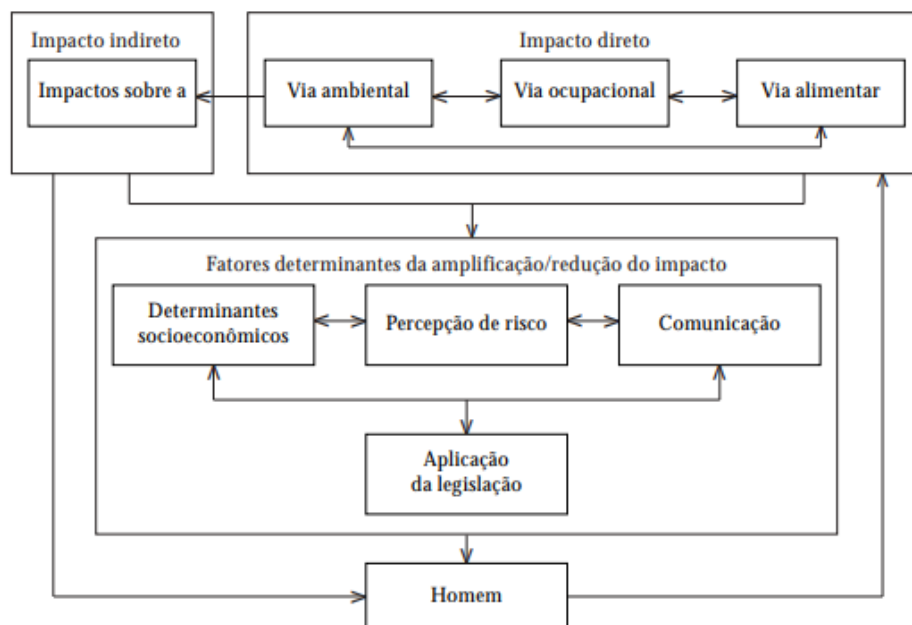
Em 2019, os princípios ativos que compõe os agrotóxicos mais comercializados no país foram o Glifosato; 2,4-D; Mancozebe; Acefato; Atrazina; Dicloreto de Paraquate; Imidaclorprido; dentre outros (TOOGE, 2019). O glifosato, mundialmente conhecido como Roundup<sup>®</sup>, possui em sua composição alguns surfactantes como o polietoxileno amina (POEA) utilizado para potencializar a eficácia do herbicida e seu metabólito principal é o ácido aminometilfosfônico (AMPA) ambos componentes também são encontrado no meio ambiente e na água já foi constatado o Limite Máximo Permitido de Glifosato no Brasil é de 100x mais do que na União Européia trazendo riscos à saúde humana (BOMBARDI, 2021; MENDONÇA, 2018; SANCHEZ, 2015). A Atrazina, Dicloreto de Paraquate e Acefato presentes nas lavouras do Brasil estão banidos na União Européia desde 2003/2004 por apresentar associação com problemas de saúde significativo incluindo câncer e Parkinson (BOMBARDI, 2021).

Os dez agrotóxicos mais aplicados seguem a classificação de periculosidade ambiental em Classe III (59,3 %), Classe II (36,67%), Classe IV (2,4 %) e Classe I (1,63%). A região Centro-Oeste, composta pelos Estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Distrito Federal e Goiás foi a que mais comercializou agrotóxico em volume (209.978,79 toneladas), seguidos pela região Sul que abrange Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul com 150.450 toneladas de ingredientes ativos (IBAMA, 2020).

### **2.1.3 Relação entre agrotóxicos e intoxicações**

No Brasil, a crescente urbanização desorganizada e o êxodo rural desde a década de 70 trouxeram uma grande contribuição para a falta de saneamento rural. Ao mesmo passo, as políticas de crédito rural e o incentivo ao uso de agrotóxicos ampliaram a produção agropecuária, trazendo risco ao produtor rural que pode desconhecer sobre a importância da assistência técnica no campo (MOREIRA et al., 2002). Além do risco ao meio ambiente, os agrotóxicos podem ser nocivos também ao corpo humano. Diversos fatores podem contribuir para que haja contaminação, sendo que na figura 3 é possível observar que há contaminação direta e indireta, das que se manifestam de maneira crônica, aguda ou subaguda (PIGNATI et al., 2017).

Figura 3 - Principais fontes de contaminação por agrotóxico sobre o corpo humano.



Fonte: Moreira et al. (2002).

Dos componentes do impacto direto, pode-se descrever que a via ambiental é caracterizada pela distribuição/deriva do agrotóxico por diversos compartimentos do ambiente, seja solo, água, sedimento ou até mesmo o ar (MOREIRA et al., 2002). Em relação a deriva de agrotóxicos no ar, nos EUA estudos já demonstram a preocupação com a saúde humana em relação a esta abordagem (HENGEL; LEE, 2014; SEGAWA et al., 2014). A pulverização de agrotóxicos traz muitas vantagens para a lavoura, porém, o efeito prejudicial da deriva gerada é alvo de estudo de muitos pesquisadores (PIGNATI; MACHADO; CABRAL, 2007; PONTES et al., 2013; ARAÚJO, 2018), pois, parte da substância pulverizada se dispersa da área alvo e deriva, sendo disposta em ambientes circundantes às zonas de aplicação (JONG; SNOO; ZAAN, 2008; CHAIM, 2004),

Para evitar contaminação por via ocupacional, as atitudes dos trabalhadores do meio rural são bem conhecidas, é preciso ter cuidado com a mistura de caldas, não realizar desentupimento de bicos de bomba de produtos com a boca, aplicar produtos contra ou na minimização da ação do vento, não utilizar ferramentas de outros fins para abrir frascos de agrotóxicos e ter uma boa higiene pessoal (SCHMIDT; GODINHO, 2006). Esses fatores corroboram com sinais e sintomas de intoxicações agudas (SALAMEH et al., 2004; FARIA; FASS; FACCHINI, 2007; JACOBSON et al., 2009; OESTERLUND et al., 2014) e doenças crônicas e agudas, como: doenças neurológicas (NGUYEN et al., 2015; JAMAL; HAQUE; SINGH, 2016), transtornos mentais (KIM; SHIN; LEE, 2014; CAMPOS et al., 2017), câncer (BONNER et al., 2005; LERRO et al., 2015) e doenças autoimunes (PARKS et al., 2016). Além disso, estudo realizado

por Richard et al. (2005) evidencia a capacidade do glifosato interferir no sistema endócrino de mamíferos, podendo ser considerado como um desregulador endócrino.

Na via alimentar é possível cotidianamente consumir agrotóxicos, de acordo com Bombardi (2017) um terço dos alimentos consumidos diariamente contém agrotóxicos. Ainda, há potencialização da insegurança alimentar quando agrotóxicos que não servem para determinada cultura, são aplicados à ela e não são considerados no cálculo de consumo diário aceitável de agrotóxico.

O Brasil possui registros de intoxicações através do Sistema Nacional de Informação Toxicológica (SINITOX), onde em 2017 os registros de intoxicações por agrotóxicos no país foram de 3.379 casos registrados e a Região Sul foi a de maior registro, com 1.753 casos.

Assim, uma série de fatores inter-relacionados no ambiente contribuem para a intoxicação do ser humano por agrotóxico, contudo, é necessário que campanhas educativas que tratem dessa temática sejam cada vez mais recorrentes na sociedade, evitando que por descuido ou falta de informação, haja sobrecarga no sistema único de saúde (BRASIL, 2018) e mortes sejam evitadas.

## 2.2 GEOTECNOLOGIAS

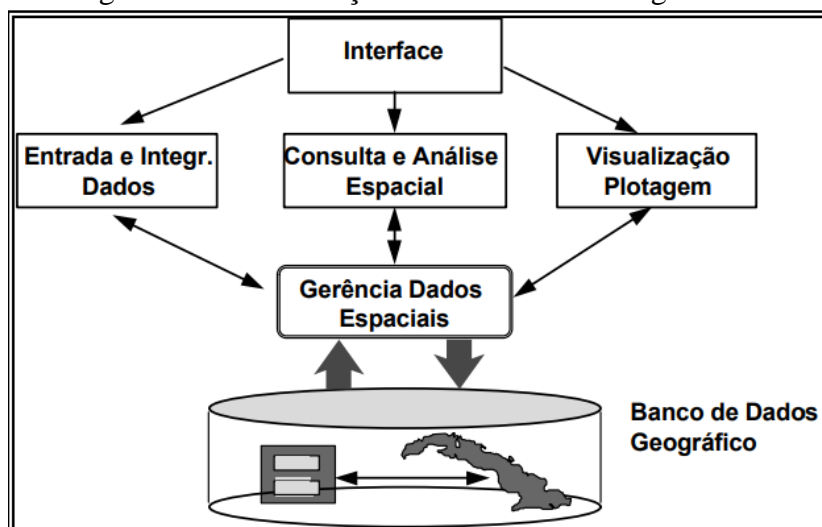
As geotecnologias são consideradas o conjunto de técnicas que tem como função coletar, processar, analisar e oferecer informações com referência geográfica (ou espacial). Dentre elas, estão os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) que possibilita desenvolver estudos ambientais que utilizam bases cartográficas, banco de dados e softwares livres indicando uma perspectiva de multidisciplinaridade em seu uso (Menezes et al., 2017).

Na estrutura de um SIG, o banco de dados geográficos corresponde a um conjunto de arquivos, que armazenam "dados", posteriormente transformados em "informações" e conforme a finalidade serão manipulados através de "programas de gerenciamento", que permitirão executar comandos, controlados pelo operador do sistema através da entrada de dados (Ferreira et al., 2009).

De acordo com Câmara et al (1996) a estrutura técnica do SIG está dividida em níveis que correspondem à interface, onde é estabelecido a relação homem – máquina (operador); em segundo momento o conjunto GIS que recebe, processa e visualiza os dados; por terceiro em um nível mais interno do sistema está a gerência do banco de dados geográficos, o

armazenamento e a possibilidade de recuperação de dados junto à sua tabela de atributos (Figura 4).

Figura 4 - Demonstração do SIG na área da agricultura



Fonte: Adaptado de Câmara et al. (1996).

O uso do SIG no campo ambiental proporciona a elaboração de mapas temáticos, modelagem numérica de terreno para análise de risco, gerenciamento ambiental na área de saneamento rural e urbano (água, esgoto, drenagem e resíduos), integração com dados de agricultura, modelagem climática, dentre outros. (CÂMARA et al., 1996)

O armazenamento de grande quantidade de informações e o controle de entrada e saída de dados é realizado através de softwares pagos ou gratuitos do mercado, permitindo o compartilhamento pelos usuários de tais informações, um exemplo de software utilizado é o ArcGIS – utilizado para criação de mapas e processamento e gestão de banco de dados que desejam resultados representados em ambiente geográfico –.

Outra ferramenta presente atualmente em estudos que envolvam representações geográficas é o Google Earth Engine, uma plataforma baseada em nuvem para análise geoespacial em escala planetária que traz enormes recursos computacionais do Google para lidar com uma variedade de questões sociais de alto impacto, incluindo desmatamento, seca, desastre, doença, segurança alimentar, gestão de água, monitoramento do clima e proteção ambiental (Gorelick et al., 2017).

O uso das geotecnologias na área da saúde, iniciaram na década de 50 entre os projetos de planejamento urbano e a coleta de dados para análises ambientais (SANTOS; BARCELLOS, 2006). Contudo, foi no início da década de 80 que a expansão da cobertura assistencial iniciado na segunda metade dos anos 70 se consolidou, em atendimento às proposições formuladas pela Organização Mundial da Saúde, através do lançamento de *softwares* como: Tabwin

(DATASUS) e Terraview (INPE) que trouxeram ganhos no mapeamento (CARVALHO, 1998). Desde então, o cenário do geoprocessamento em saúde no Brasil é favorável para estabelecer uma rede de profissionais capacitados para manusear as ferramentas disponíveis e aprimorar as abordagens nos espaços de trabalho (BRASIL, 2006).

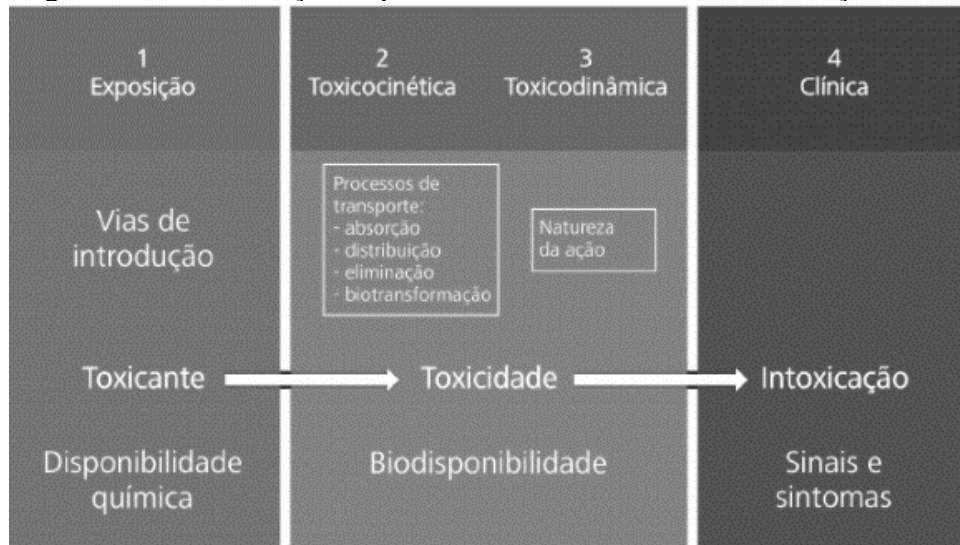
Utilizar as geotecnologias para estudos de base de dados e armazenamento, é um potencial agilizador dos processos de obtenção de resultados através da análise de múltiplas variáveis, podendo assim, o autor desenvolver a análise requerida e abordar os resultados de maneira interdisciplinar com a finalidade de promover estudos que contemplem o diagnóstico e prognóstico do local de interesse (PINTO; GARCIA, 2005).

### 2.3 INTOXICAÇÕES EXÓGENAS

Intoxicação de acordo com Ruppenthal (2013, p.21) é o processo “patológico causado por substâncias endógenas ou exógenas, caracterizado por desequilíbrio fisiológico, consequente das alterações bioquímicas no organismo”. As principais substâncias químicas encontradas são agrotóxicos agrícolas, de uso domiciliar e, na saúde pública, medicamentos, cosméticos, produtos químicos, drogas, plantas tóxicas, alimentos e bebidas. Estima-se que a soma desses fatores contribui para os casos de intoxicação exógena aguda (GONÇALVES; COSTA, 2018)

O processo da intoxicação é segmentado em quatro fases (Figura 5): 1) a exposição, que envolve o contato das substâncias potencialmente tóxicas com o organismo; 2) a fase toxicocinética, onde o organismo responde de forma defensora contra a substância invasora, desde a entrada até a eliminação do toxicante através das vias respiratórias, dérmica ou do trato gastrointestinal; 3) a fase toxicodinâmica, onde ocorrem reações em sítios específicos onde as interações provocam modificações nas estruturas moleculares caracterizando-se a intoxicação; por fim, 4) a fase clínica, que é a exibição dos resultados da intoxicação no período clínico por meio dos sinais e/ou sintomas juntamente com análises laboratoriais de exames (RUPPENTHAL, 2013).

Figura 5 - Demonstração esquemática sobre as fases de intoxicação



Fonte: Ruppenthal (2013).

No Brasil foram registrados no ano de 2017, o total de 76.115 intoxicações e 200 óbitos, destes 61 óbitos foram pelo uso de agrotóxicos agrícola. Contudo, as intoxicações por medicamentos tem prevalências nos registros, com o total de 20.637, sendo que a Região Sul registrou o maior número de casos notificados com 11.490 por medicamentos, 1.753 por agrotóxicos e o total de 39.437 casos, considerando produtos veterinários, raticidas, domissanitários, cosméticos, produtos químicos industriais, metais, abuso de drogas, plantas, alimentos, animais peçonhentos e não peçonhentos, causas desconhecidas e outros (SINITOX, 2020). Contudo, é preciso ter cuidado com a toxicologia por analogia, segundo Sprada (2013) muitas vezes algumas substâncias químicas são caracterizadas erroneamente como outras, devido à falta de informação toxicológica de determinado produto novo que foi inserido no mercado. Essa ação pode enganar o investigador quanto ao processo de desintoxicação da substância seja no corpo ou no ambiente.

### 3 CAPÍTULO 1

## ESTIMATIVA DO POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E SUPERFICIAIS POR AGROTÓXICOS NO NOROESTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

ESTIMATE THE POTENTIAL CONTAMINATION OF GROUNDWATER AND  
SURFACE WATER BY PESTICIDES, IN THE NORTHWEST OF RIO GRANDE DO SUL  
STATE

Introdução

Área de Estudo

Metodologia

Método de GOSS

Índice de GUS

Método AF/RF

Resultados e Discussão

Método de GOSS

Índice de GUS

Estimativa dos Fatores de Retardo e de Atenuação

Análise comparativa entre modelos

Conclusão

Referências

#### **Resumo**

Neste estudo, foi avaliado o potencial de contaminação das águas subterrâneas pelo índice de GUS, das águas superficiais pelo método de GOSS, e de adsorção e mobilidade, pelo método AF/RF (Fator de Atenuação / Fator de Retardo). Com este estudo pretende-se contribuir com a identificação das substâncias químicas que devem ser priorizadas pelos órgãos públicos no monitoramento ambiental da qualidade das águas. Assim, foi estruturada uma base de dados contendo as principais culturas e os tipos e quantidades de agrotóxicos aplicados em 2018 nas áreas agrícolas de 25 municípios do noroeste do Rio Grande do Sul, pertencentes à 2ª Coordenadoria Regional de Saúde do Estado do Rio Grande do Sul. A partir dessa base, foram identificados os dez agrotóxicos mais utilizados, sendo estes: glifosato; dicloreto de paraquate; atrazina; mancozebe; 2,4-D; simazina; imidaclorprido; acefato; trifloxistrobina e protioconazol. Glifosato, dicloreto de paraquate, atrazina, acefato, trifloxistrobina, imidaclorprido, simazina e protioconazol apresentaram potencial para contaminar as águas superficiais (método de GOSS). Atrazina, 2,4-D, imidaclorprido, simazina e protioconazol têm potencial para lixiviar e atingir as águas subterrâneas (índice de GUS). Glifosato, dicloreto de paraquate, mancozebe, acefato, trifloxistrobina, imidaclorprido e protioconazol apresentaram alta capacidade de adsorção no solo (RF) e dicloreto de paraquate, glifosato, acefato, trifloxistrobina e protioconazol apresentaram potencial muito baixo de lixiviação para as águas subterrâneas (AF).

**Palavras-chave:** Águas superficiais; Agrotóxicos; Águas subterrâneas; AF/RF; GOSS; GUS.

## **Abstract**

In this study, the potential for contamination of groundwater by the GUS index, of surface water by the GOSS method, and of adsorption and mobility by the AF/RF method (Attenuation Factor / Delay Factor) were evaluated. With this study it is intended to contribute to the identification of chemical substances that should be prioritized by public agencies in the environmental monitoring of water quality. Thus, a database was structured containing the main crops and types and quantities of pesticides applied in 2018 in agricultural areas of 25 municipalities in the northwest of Rio Grande do Sul, belonging to the 2nd Regional Health Coordination of the State of Rio Grande do Sul. From this base, the ten most used pesticides were identified, namely: glyphosate; paraquat dichloride; atrazine; mancozeb; 2,4-D; simazine; imidachlorprid; acephate; trifloxystrobin and prothioconazole. Glyphosate, paraquat dichloride, atrazine, acephate, trifloxystrobin, imidachlorprid, simazine and prothioconazole showed potential to contaminate surface water (GOSS method). Atrazine, 2,4-D, imidachlorprid, simazine and prothioconazole have the potential to leach into groundwater (GUS index). Glyphosate, paraquat dichloride, mancozeb, acephate, trifloxystrobin, imidachlorprid and prothioconazole had high soil adsorption capacity (RF) and paraquat dichloride, glyphosate, acephate, trifloxystrobin and prothioconazole had very low leaching potential (AF) to groundwater.

**Keyword:** Surface Water; Pesticides; Groundwater; AF/RF; GOSS; GUS.

## **INTRODUÇÃO**

O aumento da população mundial elevou a demanda por alimentos, intensificando as atividades agrícolas e oportunizando a inserção e comercialização de uma diversidade de herbicidas, fungicidas, inseticidas, acaricidas e demais produtos para o controle de pragas, doenças e plantas invasoras nas lavouras (Casagrande, 2018). No Brasil, o modelo de produção agrícola intensiva, tornou o país o principal consumidor de agrotóxicos desde 2008, deixando a população mais exposta à contaminação, seja pelo manuseio, pela ingestão de alimentos ou pela contaminação do meio (INCA, 2020). A Região Sul do Brasil registrou em 2019 a comercialização de 150.450 toneladas de agrotóxico, sendo o Rio Grande do Sul o maior comerciante com cerca de 74.300 toneladas (IBAMA, 2020).

Um dos fatores que influenciam a vulnerabilidade ambiental é a pressão ocasionada pelo uso do solo (Li et al., 2006). O Estado do Rio Grande do Sul possui cerca de 76,8% (216.485,58 km<sup>2</sup>) do total do seu território destinado à atividade agrícola para plantio direto (36%), cultivo convencional (25%) e cultivo mínimo (15%), e em cerca de 70% dessas áreas são utilizadas



técnicas que envolvem o uso de agrotóxicos; entretanto, 5% dos estabelecimentos que os utilizam não recebem assistência técnica (IBGE, 2017).

O agricultor que não tem conhecimento técnico adequado sobre o manejo do produto na cultura e o uso correto do EPI, corre risco de contaminar o meio, ser intoxicado e, quando aplicado em grande escala, coloca em risco a saúde da população que reside no entorno dessas culturas. Segundo as técnicas de uso, estima-se que a aplicação aérea de agrotóxico é de, aproximadamente, 900 milhões de litros por ano no Brasil (Pignati, 2017).

Na atmosfera, os agrotóxicos podem ser transportados a grandes distâncias por meio da ação eólica ou pela ação da chuva, do orvalho, da neblina ou da neve, sendo posteriormente depositados em superfície (Gavrilescu, 2005). Além disso, dependendo da condição ambiental, é possível que o agrotóxico seja lixiviado para a água superficial e/ou água subterrânea (Severo et al., 2019; Fan et al., 2018). Existem também, outros comportamentos associados aos agrotóxicos, além dos processos de retenção, de transformação e de transporte (Spadotto, 2002), como a movimentação pelo fluxo de massa e a bioacumulação ou biomagnificação (Hunter & Stabe, 1972; Rosa et al., 2011).

Os agrotóxicos podem estar presentes em águas de áreas próximas à mata nativa, lavoura de soja e áreas de suinocultura, conforme a pesquisa desenvolvida por Seben (2020) nos municípios do Norte do Rio Grande do Sul. Ainda, na Portaria de Consolidação nº 5 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2017), estão presentes o Valor Máximo Permitido para 27 agrotóxicos, 15 produtos químicos inorgânicos (metais pesados), 15 produtos químicos orgânicos (solventes), sete produtos químicos secundários da desinfecção domiciliar, além do uso de algicidas nos mananciais e estações de tratamento demonstrando a ampliação da poluição pelos processos produtivos industriais e atividades domésticas. Além disso, a legislação não possui Valor Máximo Permitido para alguns ingredientes ativos de agrotóxicos, como no caso da Clotianida, do Imidacloprido, da Picoxistrobina e da Clomazona, gerando

preocupação quanto ao uso das águas que apresentam esses ingredientes ativos, para o abastecimento, visto que não há remoção destes por parte das empresas de saneamento, em função do elevado custo dos processos avançados de remoção e falta de tecnologia para remover derivados de agrotóxicos como o AMPA e POED (Carneiro, 2015).

Quando presente no solo, cerca de 20% dos agrotóxicos podem lixiviar até as águas (Barriuso et al., 1996) contudo, já existem técnicas passíveis de promover a remoção ou imobilização destes no solo, como é o caso da fitorremediação (Pires et al., 2003) e materiais adsorventes alternativos: sementes de moringa oleífera, crambe, pinhão manso, cascas de mandioca, castanha do Brasil, castanha de caju e de pinus (Gonçalves, 2013). Contudo, a degradação desses compostos químicos ou a sua conversão em outros produtos não significa a inatividade biológica, podendo tornar este um novo produto, mais tóxico, assim, somente a conversão total ou mineralização, permitirá a descontaminação (Andrea, 1998).

O mercado mundial dos agrotóxicos é dominado por empresas maiores que detêm quase cerca de 90% desse mercado, o pacote tecnológico comercializado supre o sistema de agricultura tradicional desde a venda da semente, até a venda do insumo necessário para o crescimento (Villalobos & Fazolli, 2017). Dito isso, é notável que o mercado dos agrotóxicos gera um impacto econômico significativo para o país, sendo um desafio migrar para sistemas agroecológicos/orgânicos de cultivos.

No Brasil, diversos estudos relacionam a mobilidade, o comportamento e os efeitos adversos dos agrotóxicos nas águas, nos ecossistemas e na saúde humana (De Castro & Naval, 2019; Pereira et al., 2019; Buralli et al., 2019; Paumgartten, 2020). Todavia, a identificação de resíduos de agrotóxicos no ambiente é dificultada pelo elevado número de princípios ativos utilizados na agricultura e os custos relacionados à identificação desses princípios, seja pela utilização de tecnologias tradicionais ou avançadas (Narendran et al., 2020; Bapat et al., 2016; Li et al., 2013).

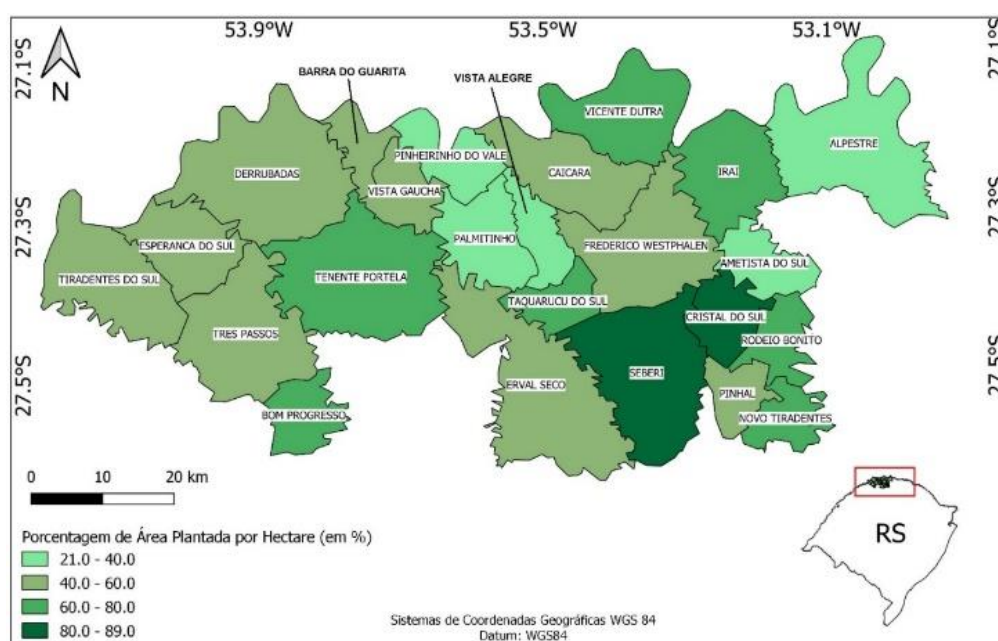
Em busca de alternativas tecnológicas que permitam entender o comportamento e a mobilidade desses insumos no ambiente, surgiram os modelos matemáticos aplicados às tecnologias ambientais (Bernard et al., 2005; Spadotto et al., 2002). São diversos os modelos de triagem e índices de aplicação simples, dentre eles destacam-se: o método screening da Environmental Protection Agency (EPA) (Cohen, 1995), o índice LIX (Spadotto, 2002), o Leaching Index (LEACH) (Laskowski et al., 1982), o índice Groundwater Ubiquity Score (GUS) (Gustafon, 1989) e o método de GOSS (Goss, 1992). O índice de GUS utiliza o  $T_{1/2}$  na água e o coeficiente de adsorção do agrotóxico à matéria orgânica do solo (Koc), por fim, o método de GOSS considera os itens de GUS e a solubilidade em água (mg/L).

O modelo Attenuation Factor & Retardation Factor - em português: Fator de Atenuação / Fator de Retardo (AF/RF) -, desenvolvido por Rao et al. (1985) considera as características físico-químicas do agrotóxico, as características do solo e as condições climáticas, facilitando a análise da mobilidade e a adsorção das substâncias no ambiente como mostra nas pesquisas desenvolvidas (Gaona et al., 2019; Santos & Leite, 2016; De Paz & Rubio, 2006). O Fator de Retardo indica a adsorção do agrotóxico no solo e o Fator de Atenuação estima a fração de um pesticida que, após aplicado, lixivia no perfil do solo (Rao et al., 1985).

Sendo assim, o objetivo desse estudo foi avaliar o potencial de contaminação das águas subterrâneas pelo índice de GUS (Gustafon, 1989), das águas superficiais pelo método de GOSS (Goss, 1992) e a adsorção e mobilidade das substâncias pelo método AF/RF (Rao et al., 1985), em áreas agrícolas de municípios do noroeste do Estado do Rio Grande do Sul com aplicação intensiva de agrotóxicos. Além disso, o presente trabalho pretende contribuir com a identificação das substâncias químicas que devem ser priorizadas no monitoramento ambiental da qualidade das águas superficiais e subterrâneas.

## **ÁREA DE ESTUDO**

Considerando a extensão territorial e a importância econômica das atividades agrícolas, foram selecionados 25 municípios dessa região (que apresentam de 21% a 89% de área agrícola) para realizar a aplicação do estudo proposto, sendo estes: Alpestre, Ametista do Sul, Barra do Guarita, Bom Progresso, Caiçara, Cristal do Sul, Derrubadas, Erval Seco, Esperança do Sul, Frederico Westphalen, Iraí, Liberato Salzano, Novo Tiradentes, Palmitinho, Pinhal, Pinheirinho do Vale, Rodeio Bonito, Seberi, Taquaruçu do Sul, Tenente Portela, Tiradentes do Sul, Três Passos, Vicente Dutra, Vista Alegre e Vista Gaúcha (Figura 1).

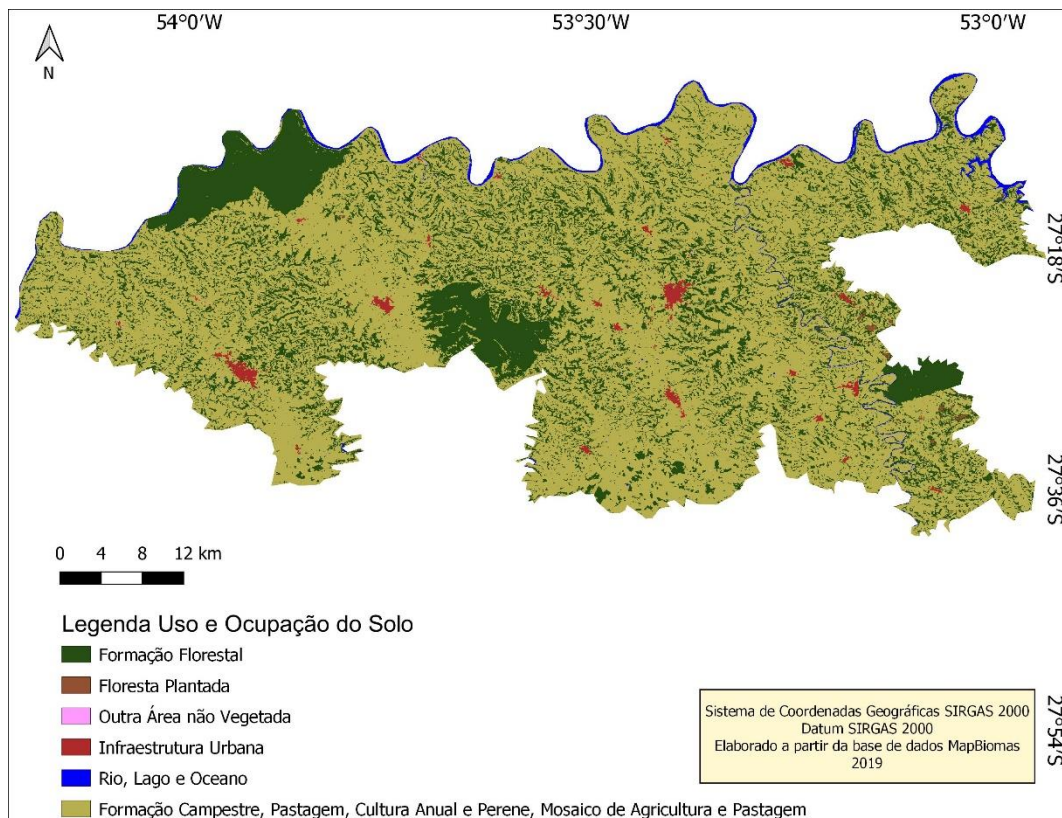


**Figura 1** Municípios objeto do estudo, pertencentes a região noroeste do Estado do Rio Grande do Sul e percentual de áreas plantadas por hectare, em relação a área total do município. Fonte: Malha municipal (IBGE, 2020).

Entre os estabelecimentos rurais desses municípios, 91% (18.298) utilizam agrotóxicos. A intensa atividade agrícola, é desenvolvida pela agricultura familiar (73% representada por parentesco familiar) e por demais produtores (27%) (IBGE, 2017).

Essa população está potencialmente exposta a uma eventual contaminação pela exposição às substâncias químicas, assim como os diferentes compartimentos do meio; entre eles o solo e as águas (Simões et al., 2018; Prates et al., 2011; Pinheiro et al., 2010) e os alimentos produzidos (Lopes & Albuquerque, 2018).

Em relação ao uso e ocupação do solo, observa-se predomínio das Culturas Anuais e Perenes (1.460,98 km<sup>2</sup>), que somadas às áreas com Mosaico de Agricultura e Pastagem (1.167,79 km<sup>2</sup>), correspondem a 59,9% do território; seguidos pelas Formações Florestais (1.204,54 km<sup>2</sup>) (27,5%) e pelas Pastagens (433,5 km<sup>2</sup>) (9,9%) (Figura 2). O uso para Florestas Plantadas, Formação Campestre, Área Não Vegetada e áreas Urbanas ocupam 1,8% do território, enquanto 1,5% é ocupado por rios e lagos.



**Figura 2** Mapa de Uso e Ocupação do Solo da fração da Região Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul objeto deste estudo. Construído a partir de PROJETO MapBiomias (2019)

A agricultura em conjunto com a pastagem (Pastagem, Cultura Anual e Perene, e Mosaico de Agricultura e Pastagem) ocupam a maior parte do território (69,8%) e, somados às Formações Florestais (27,5%), caracterizam o território com intenso uso agropecuário, intercalado com áreas de florestas. A classificação de uso “pastagem” que consta no MapBiomias (PROJETO MapBiomias, 2019) inclui pastos limpos, pastos sujos e solo exposto,

não sendo possível discriminar qual a área de pastagem que efetivamente possui (e se possui) aplicação de agrotóxicos.

Entre as classes de Formação Florestal, destacam-se as áreas de Unidade de Conservação, como o Parque Estadual do Turvo (174,9 km<sup>2</sup>), ou Áreas de Proteção Permanente, conforme legislação do “Novo Código Florestal” (BRASIL, 2012).

O uso em grande escala de pesticidas acompanhou a expansão de monoculturas como a soja no Brasil, entre os anos 2010 e 2019 a cultura de soja aumentou 53,95% e o uso de agrotóxicos no período também cresceu em 71,46%. Além da soja, a produção de grãos como: milho, feijão, arroz, algodão, trigo e sorgo são as principais culturas do agronegócio brasileiro (Bombardi, 2021; Pedrosa, 2014).

Os dez agrotóxicos mais aplicados nessas áreas são classificados como herbicidas, fungicidas, acaricidas e inseticidas (Tabela 1), e tem por finalidade o controle de plantas daninhas, controle de doenças e de insetos indesejáveis (Ferreira, 2009; Maciel et al., 2019). De acordo com o grau de toxicidade, os agrotóxicos aplicados enquadram-se na classificação de: extremamente tóxico (grau I), que é o caso do dicloreto de paraquate e 2,4-D; altamente tóxico (grau II), como a trifloxistrobina; moderadamente tóxico (grau III), é o caso da atrazina, mancozeb e acefato; e, pouco tóxico (grau IV), como o glifosato e o protioconazol (ANVISA, 2016).

O glifosato foi o agrotóxico aplicado em maior quantidade no município de Tiradentes do Sul (26.808 L/ano); o dicloreto de paraquate (20.489,84 L/ano) no município de Tenente Portela; o 2,4-D (4.294,129 L/ano) em Frederico Westphalen; a simazina (1.556,25 L/ano) em Erval Seco; a atrazina (7.107,5 L/ano), mancozebe (16.555,25 kg/ano), acefato (7.711,5 kg/ano), trifloxistrobina (2.818,975 L/ano), imidacloprido (2.548,55 L/ano) e o protioconazol (2.005,5 L/ano) em maior quantidade no município Seberi (Tabela 1). O município de Ametista

do Sul foi o menor consumidor de agrotóxico dentre os agrotóxicos avaliados, exceto para o mancozebe (110 kg/ano) que teve menor consumo no município de Barra do Guarita.

**Tabela 1** - Quantidade de agrotóxicos (L/ano ou kg/ano) utilizados no ano de 2018 em municípios do noroeste do Rio Grande do Sul. Fonte: Rio Grande do Sul (2019).

Municípios do Rio Grande do Sul	Quantidade de agrotóxico utilizado por município									
	1*	2*	3*	4*	5*	6*	7*	8*	9*	10*
Alpestre	10569,4	1191,3	1031,8	1168,4	714,9	1088,3	156,4	124,9	941,3	3,8
Ametista do Sul	995,1	218,5	169,3	232,2	26,5	14,6	37,5	52,2	121,3	2,5
Barra do Guarita	1255,5	1262,9	309,3	110,0	497,4	157,5	92,0	83,4	138,8	40,8
Bom Progresso	6845,2	2800,9	700,0	2275,9	1230,6	1092,9	380,6	201,9	280,0	224,0
Caiçara	9747,7	1373,1	2295,3	820,9	1905,5	1138,6	422,0	211,7	161,3	27,5
Cristal do Sul	2069,8	983,7	755,8	486,0	993,9	656,3	264,0	266,2	163,8	82,0
Derrubadas	26018,9	9870,7	3744,0	3441,0	1251,6	549,6	706,1	950,0	905,0	788,3
Erval Seco	13170,7	4910,4	3979,3	10345,4	2461,5	4969,7	1568,2	1264,2	1556,3	479,5
Esperança do Sul	21475,2	6117,1	1316,3	695,5	2020,9	891,5	592,3	250,7	501,3	371,3
Frederico Westphalen	26363,8	2986,1	5140,8	2174,7	4294,1	1374,2	1078,1	1072,0	621,3	123,8
Iraí	13956,6	2194,3	2817,8	441,2	3219,5	1095,0	617,1	455,6	438,8	31,3
Liberato Salzano	14640,7	4054,1	2504,0	925,8	1754,4	1914,2	315,7	358,8	1012,5	210,3
Novo Tiradentes	6047,9	1404,3	1985,0	1687,8	1196,1	1541,3	606,1	471,2	655,0	512,8
Palmitinho	5258,4	522,6	1010,3	70,6	648,0	45,3	76,3	52,5	138,8	16,3
Pinhal	4318,2	1759,4	1417,5	1018,8	1084,5	506,3	427,1	357,1	485,0	333,5
Pinheirinho do Vale	5551,2	532,9	1380,5	453,3	661,3	675,8	128,5	253,4	212,5	17,5
Rodeio Bonito	7030,0	900,5	2608,0	2495,0	1499,5	1650,8	1229,0	483,5	1130,0	309,8
Seberi	11385,9	5553,5	7107,5	16555,3	3402,8	7711,5	2819,0	2548,6	535,0	2005,5
Taquaruçu do Sul	2672,8	870,1	1059,0	735,1	958,9	661,3	396,3	234,2	215,0	24,3
Tenente Portela	24884,6	20489,8	4432,0	2921,7	2518,4	1486,3	1170,3	2477,6	1291,3	1080,3
Tiradentes do Sul	26808,0	4568,2	3420,3	350,1	1700,8	2097,8	558,1	491,8	726,3	178,5
Três Passos	22204,6	6956,4	4225,0	1117,3	1791,4	634,1	548,1	399,4	810,0	421,8
Vicente Dutra	14745,4	2228,6	2623,5	2075,7	3658,5	1482,2	838,3	609,9	260,0	136,3
Vista Alegre	3234,2	633,1	655,8	248,2	686,1	179,3	152,5	123,1	183,8	5,0
Vista Gaúcha	2570,6	1717,7	2464,8	169,8	337,8	363,8	242,1	338,6	301,3	125,3

1 - Glifosato (L); 2 - Dicloreto de Paraquate (L); 3 - Atrazina (L); 4 - Mancozebe (kg); 5 - 2,4-D (L); 6 - Acefato (kg); 7 - Trifloxistrobina (L); 8 - Imidaclorprido (L); 9 - Simazina (L); 10 - Protiocanazol (L).

A aplicação excessiva de agrotóxicos pode estar relacionada a fatores como: a falta de assistência técnica e a desinformação por parte dos agricultores, além da ausência de instruções de uso (Lopes, 2017). As consequências podem refletir em graves problemas de saúde, como mostra um estudo realizado com análise de dados de intoxicações exógenas por agrotóxicos entre os anos 2007 a 2012, que indica a ocorrência de cerca de 32.691 mil intoxicações

confirmadas no Brasil (Matos, 2013). As maiores incidências ocorreram nos estados de São Paulo (19%), Paraná (18%) e Minas Gerais (14%); enquanto o Rio Grande do Sul foi um dos estados com menor número de casos confirmados por intoxicação (2%) (Matos, 2013).

No que concerne ao ambiente, a constatação de contaminação de solos e das águas são emergentes em áreas onde ocorre o uso incorreto da quantidade de agrotóxicos, que podem alterar, inclusive, as concentrações de metais pesados do meio (Steffen et al., 2011).

## **METODOLOGIA**

### **MÉTODO DE GOSS**

Para avaliar o potencial de contaminação das águas superficiais, utilizou-se o método de GOSS (Goss, 1992), que considera as seguintes características do agrotóxico: tempo de meia-vida [ $T_{1/2}$  solo (dias)], o coeficiente de adsorção do agrotóxico à matéria orgânica do solo ( $K_{oc}$ ), e solubilidade em água (mg/L).

O tempo de meia-vida do agrotóxico no solo avalia o tempo requerido para que a metade da concentração do agrotóxico desapareça independente de sua concentração inicial no ambiente (Barrigossi et al., 2005). O coeficiente de adsorção do agrotóxico à matéria orgânica no solo ( $K_{oc}$ ) é o coeficiente que gera estimativa da tendência de partição do agrotóxico da fase líquida para a matéria orgânica do solo (Barceló & Hennion, 2003).

Segundo Cabrera et al. (2008), no método de GOSS os agrotóxicos são classificados em função do potencial de transporte em águas superficiais e sedimentos (Tabela 2).

Os compostos que não se enquadram em nenhum destes grupos são considerados com Médio Potencial de Contaminação das Águas Superficiais devido a serem Transportados Dissolvidos na Água (MPTDA) ou associado ao sedimento em suspensão (MPTAS) (Cabrera et al., 2008).

As variáveis como: o coeficiente de adsorção do agrotóxico à matéria orgânica do solo ( $K_{oc}$ ), tempo de meia vida do agrotóxico no solo ( $T_{1/2}$ ) e a solubilidade do agrotóxico em água (mg/L) (Tabela 3), variam de acordo com cada agrotóxico.



**Tabela 2** - Método de GOSS para avaliar o potencial de contaminação das águas superficiais e sedimentos

Potencial de transporte do agrotóxico	Associado a Sedimentos		
	*T <sub>1/2</sub> (d)	**K <sub>oc</sub> (mL.g <sup>-1</sup> )	***S (mg.L <sup>-1</sup> )
Alto Potencial	≥ 40	≥ 1000	-
	≥ 40	≥ 500	≤ 0,5
Baixo Potencial	< 1	-	-
	≤ 2	≤ 500	-
	≤ 4	≤ 900	≥ 0,5
	≤ 40	≤ 500	≥ 0,5
	≤ 40	≤ 900	≥ 2
	≤ 40	≤ 900	≥ 2
Potencial de transporte do agrotóxico	Dissolvidos em água		
	*T <sub>1/2</sub> (d)	**K <sub>oc</sub> (mL.g <sup>-1</sup> )	***S (mg.L <sup>-1</sup> )
Alto Potencial	> 35	< 1.000.000	≥ 1
	< 35	≤ 700	≥ 10 e ≤ 100
Baixo Potencial	-	≥ 1.000.000	-
	≤ 1	≥ 1000	-
	< 35	-	< 0,5

\*T<sub>1/2</sub> - tempo de meia vida do agrotóxico em dias

\*\*K<sub>oc</sub> - coeficiente de adsorção à matéria orgânica

\*\*\*S - solubilidade em água

**Tabela 3** - Parâmetros de coeficiente de adsorção à matéria orgânica do solo (K<sub>oc</sub>), constante da Lei de Henry (K<sub>H</sub>), tempo de meia vida do agrotóxico no solo (T<sub>1/2</sub>) e solubilidade (mg/L) dos agrotóxicos mais utilizados na região de estudo, pertencente a fração do noroeste do RS.

Agrotóxico	K <sub>oc</sub> (mL/g)	K <sub>H</sub>	T <sub>1/2</sub>	Solubilidade (mg/L)
Glifosato	1,42E+03 <sup>1</sup>	2,1E-07 <sup>1</sup>	1,50E+01 <sup>1</sup>	10500 <sup>1</sup>
Dicloreto de paraquate	1,00E+05 <sup>2</sup>	4,0E-09 <sup>12</sup>	3,65E+02 <sup>2</sup>	620000 <sup>12</sup>
Atrazina	1,00E+02 <sup>3</sup>	1,5E-04 <sup>3</sup>	7,50E+01 <sup>3</sup>	33 <sup>3</sup>
Mancozeb	9,98E+02 <sup>1</sup>	5,9E-04 <sup>1</sup>	7,00E+01 <sup>4</sup>	6,2 <sup>1</sup>
2,4-D	3,93E+01 <sup>2</sup>	4,0E-06 <sup>2</sup>	4,40E+00 <sup>2</sup>	24300 <sup>2</sup>
Acefato	3,02E+02 <sup>2</sup>	5,10E-08 <sup>1</sup>	3,00E+00 <sup>1</sup>	790000 <sup>1</sup>
Trifloxistrobina	2,38E+03 <sup>7</sup>	2,30E-03 <sup>6</sup>	7,00E+00 <sup>6</sup>	0,61 <sup>6</sup>
Imidacloprido	2,62E+02 <sup>8</sup>	1,7E-10 <sup>1</sup>	1,91E+02 <sup>1</sup>	610 <sup>1</sup>
Simazina	1,30E+02 <sup>9</sup>	2,30E-09 <sup>5</sup>	6,00E+01 <sup>5</sup>	6,2 <sup>5</sup>
Protiocanazol	1,77E+03 <sup>11</sup>	3,00E-05 <sup>10</sup>	5,00E-01 <sup>10</sup>	300 <sup>10</sup>

Fonte: <sup>1</sup>Milhome (2009); <sup>2</sup>IUPAC (2019); <sup>3</sup>Martinazzo et al. (2011); <sup>4</sup>Gaona et al. (2019); <sup>5</sup>Lourencetti et al. (2005); <sup>6</sup>Andrade et al. (2011); <sup>7</sup>Bayer (2020); <sup>8</sup>Cox et al. (1997); <sup>9</sup>Carmo et al. (2013); <sup>10</sup>Soares et al. (2017); <sup>11</sup>Kontiotari & Mattsoff (2011); <sup>12</sup>FAO (2008).

O índice de GUS também conhecido como o índice de avaliação do potencial de contaminação da água subterrânea por agrotóxico, foi aplicado utilizando a Equação 1, proposta por Gustafon (1989):

$$GUS = \log(t_{1/2}) \times 4(-\log K_{oc}) \quad (1)$$

Onde  $t_{1/2}$  é a meia-vida de degradação do pesticida e  $K_{oc}$  é o coeficiente de sorção normalizado ao teor de carbono orgânico do solo. A partir do resultado, o potencial de lixiviação é classificado como Nulo ( $GUS < 1,8$ ), Zona de Transição ( $GUS$  entre 1,8 e 2,8) e Provável Lixiviado ( $GUS \geq 2,8$ ).

### MÉTODO AF/RF

No modelo *Attenuation Factor* (AF) e *Retardation Factor* (RF) proposto por Rao et al. (1985) existem dois índices que são utilizados para avaliar a adsorção do agrotóxico no solo (RF) e a fração que pode lixiviar (AF). O Fator de Retardo é calculado conforme a Equação 2.

$$RF = 1 + \left( \frac{\rho \cdot OC \cdot K_{oc}}{FC} \right) + \left( \frac{\delta \cdot K_H}{FC} \right) \quad (2)$$

Onde  $p$  é a densidade do solo ( $\text{g/cm}^3$ ); OC é o teor de carbono orgânico ( $\text{g/g}$ );  $K_{oc}$  é o coeficiente de adsorção à matéria orgânica do solo ( $\text{cm}^3/\text{g}$  ou  $\text{mL/g}$ ); FC é a capacidade de campo ( $\text{v/v}$ );  $\delta$  é a porosidade do solo na capacidade de campo ( $\text{v/v}$ ); e  $K_H$  é o coeficiente de partição ar-água do agrotóxico (constante da Lei de Henry).

O mapa pedológico da EMBRAPA (2001), foi utilizado para espacializar os tipos de solos (Latosolos Vermelhos Distroférricos e Cambissolos Háplicos Ta Eutróficos). Os parâmetros pedológicos densidade do solo, teor de carbono orgânico, capacidade de campo e porosidade (Tabela 4) foram espacializados de acordo com os tipos de solo encontrados na região.

**Tabela 4** - Características do solo utilizados para os cálculos dos Fatores de Atenuação e de Retardo.

Tipo de Solo	$p$	OC	FC	$\delta$
Latosolos Vermelhos Distroférricos	1,48 <sup>1</sup>	0,015 <sup>3</sup>	0,36 <sup>5</sup>	0,33 <sup>7</sup>

Cambissolo Háplicos Ta Eutróficos      0,93<sup>2</sup>      0,018<sup>4</sup>      0,44<sup>6</sup>      0,54<sup>8</sup>

\*  $p$  - é a densidade do solo ;  $OC$  – Teor de Carbono Orgânico ;  $FC$  – capacidade de campo ;  $\delta$  – porosidade do solo na capacidade de campo.

Fonte: <sup>1</sup>Ortigara et al. (2014); <sup>2</sup>Giarola et al. (2002); <sup>3</sup>Silva (2008); <sup>4</sup>Luciano et al. (2010); <sup>5</sup>Cherubin et al. (2015); <sup>6</sup>Giarola et al. (2002); <sup>7</sup>Mazurana (2011); <sup>8</sup>Balbinot et al. (2009).

O Fator de Atenuação (AF), representa a fração da massa de pesticida aplicada, que é lixiviada abaixo de uma determinada profundidade de solo ou rocha e é calculado por meio da Equação 3.

$$AF = \exp\left(\frac{-0,693.L.RF.FC}{q.t_{1/2}}\right) \quad (3)$$

O L é a profundidade da água subterrânea (m), ou profundidade considerada a partir da superfície do solo; RF é o fator de retardo (adimensional); FC é a capacidade de campo do solo (v/v); q é a recarga líquida da água subterrânea (m/dia); e  $t_{1/2}$  solo é a meia vida do produto (agrotóxico) no solo (d).

A recarga líquida (q) do aquífero foi estimada com base no percentual de recarga da precipitação média anual de cada município. A precipitação média anual dos municípios foi obtida a partir de dados históricos (de 1988 a 2018) da precipitação anual, registrados em sete estações pluviométricas, sendo estas: Barra do Guarita (02753024); Três Passos (02753009); Tiradentes do Sul (02754001); Tenente Portela (02753008); Liberato Salzano (02753014); Iraí (02753019) e Frederico Westphalen (02753002) (ANA, 2019).

Esses dados pontuais, foram espacializados pelo método de interpolação do Inverso da Distância ao Quadrado – IDW, no software ArcGIS® 10.2 (ESRI, 2014). No caso de lacunas de precipitação das séries históricas, essa foram preenchidas de acordo com a metodologia de ponderação regional proposta por Bertoni & Tucci (2007).

A partir da tabulação dos dados de precipitação (P) em planilha eletrônica e cálculo da média anual de precipitação para cada estação, o valor de P foi, então, multiplicado pelo percentual de recarga do aquífero freático (zona de alteração da rocha fraturada, da Formação Serra Geral).

A recarga líquida ( $q$ ) do aquífero freático foi estimada em 23% da precipitação (Pasini et al., 2021). Após esses cálculos, a planilha foi transferida para ArcGIS® 10.2 e foi gerado um raster 50x50 metros de recarga anual para a área agrícola dos 25 municípios.

O aquífero livre da zona alterada da rocha basáltica fraturada é um importante sistema explorado para o atendimento das demandas hídricas rurais, abastecendo 54% dos estabelecimentos (IBGE, 2017). A Profundidade do nível de água subterrânea ( $L$ ), adotada neste estudo foi obtida a partir da topografia das cartas do exército de 1:50.000 (HASENACK; WEBER, 2010), considerando a superfície potenciométrica localizada a uma profundidade máxima da ordem de 25 m (nas zonas de topos de morro) e um nível d'água subterrânea aflorante nos corpos hídricos (rios e tributários), apresentando profundidade de 0 m nas linhas d'água. Esses valores foram definidos a partir de estudos hidrogeológicos que indicam espessuras não saturadas da zona de alteração dos basaltos da Formação Serra Geral de até 20 m (Baum et al., 2018; Mancuso et al., 2014), com exploração efetiva desse aquífero livre, que está sotoposto ao aquífero fraturado principal (Sistema Aquífero Serra Geral - SASG) (Mancuso & Santos, 2021).

A espessura da zona não saturada foi estimada a partir da diferença entre os mapas de altitude topográfica (em raster) e a altitude dos corpos hídricos (em raster). O cálculo resultou em um mapa de espessuras variáveis entre 0 m (na interseção da topografia com os corpos hídricos) e profundidades  $> 25$  m mas, neste estudo, a profundidade máxima considerada foi de 25 m, considerando o estudo de caracterização hidrogeológica realizado por Baum et al. (2018), que monitoraram o aquífero livre da zona de intemperismo do SASG por meio de poços cacimbas (escavados nessa zona de intemperismo dos basaltos).

A escala de classificação do Fator de Retardo e do Fator de Atenuação está de acordo com a proposta de Helling and Dragun (1980 segundo Loague, 1991) e Khan & Liang (1989) (Tabela 5).

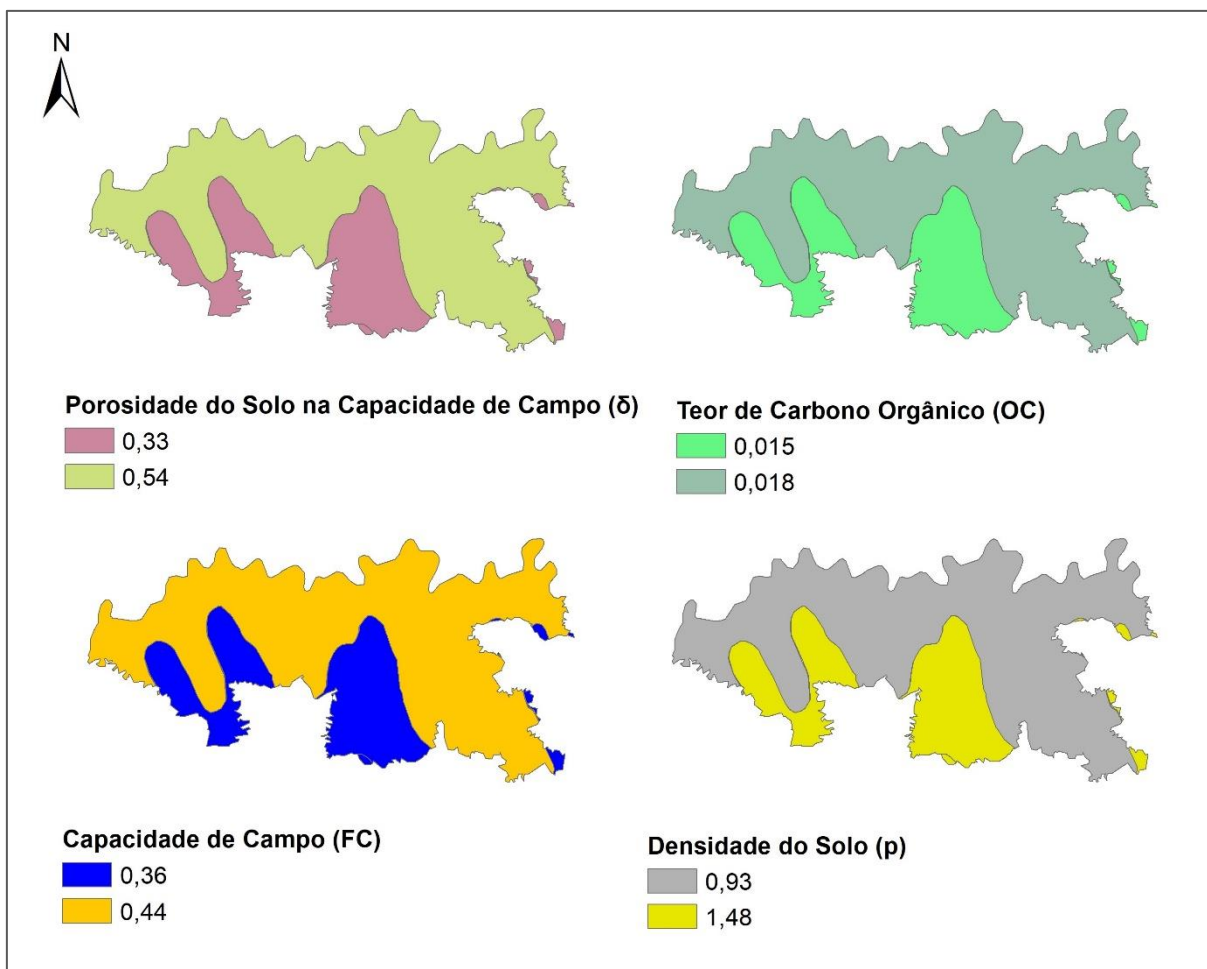
**Tabela 5** - Classificação do Fator de Retardo, de acordo com o potencial de adsorção e classificação do Fator de Atenuação, conforme o potencial de lixiviação

<b>Fator de Retardo</b>	<b>Potencial de Adsorção</b>	<b>Fator de Atenuação</b>	<b>Potencial de Lixiviação</b>
1,0 - 2,0	Baixo	0	Nulo
2,0 - 3,0	Médio	0,0 - 0,0001	Muito Baixo
3,0 - 10,0	Alto	0,0001 - 0,01	Baixo
> 10	Muito Alto	0,01 - 0,1	Médio
		0,1 - 0,25	Alto
		0,25 - 1	Muito Alto

Os mapas que representam resultados para AF/RF estão baseados no mapa de uso do solo do MapBiomas – coleção 4.0 (1985-2018) cujo *raster* foi extraído no toolkit do Google Earth Engine® (Google, 2019), e dele foram extraídas as áreas dos 25 municípios estudados, com ArcGIS®. Posteriormente o *raster* foi vetorizado, possibilitando o cálculo de áreas correspondente a florestas, agricultura, rios/lagos e áreas urbanas (Figura 2).

Na tabela de atributos do arquivo vetorizado foram incluídos os dez agrotóxicos mais utilizados e suas respectivas características necessárias para os cálculos AF/RF em áreas de potencial aplicação desses agrotóxicos (pastagem, cultura anual e perene e mosaico agricultura e pastagem), considerando a variabilidade para cada um dos dois tipos de solo. Por fim, o mapa foi convertido em *raster* novamente, por meio do comando “*polygon to raster*” no ArcGIS®, possibilitando o cálculo das equações 2 e 3.

A partir do comando “*raster calculator*” os *raster* utilizados foram: capacidade de campo (FC), densidade do solo ( $p$ ) e teor de carbono orgânico (OC) (Figura 3); o coeficiente de adsorção à matéria orgânica do solo ( $K_{oc}$ ) e o coeficiente de partição ar-água do agrotóxico/constante da Lei de Henry ( $K_H$ ) foram inseridos manualmente, pois cada agrotóxico apresenta um valor. Esta metodologia permitiu obter o *raster* do Fator de Retardo de cada agrotóxico, considerando as características do meio e o comportamento do respectivo agrotóxico.



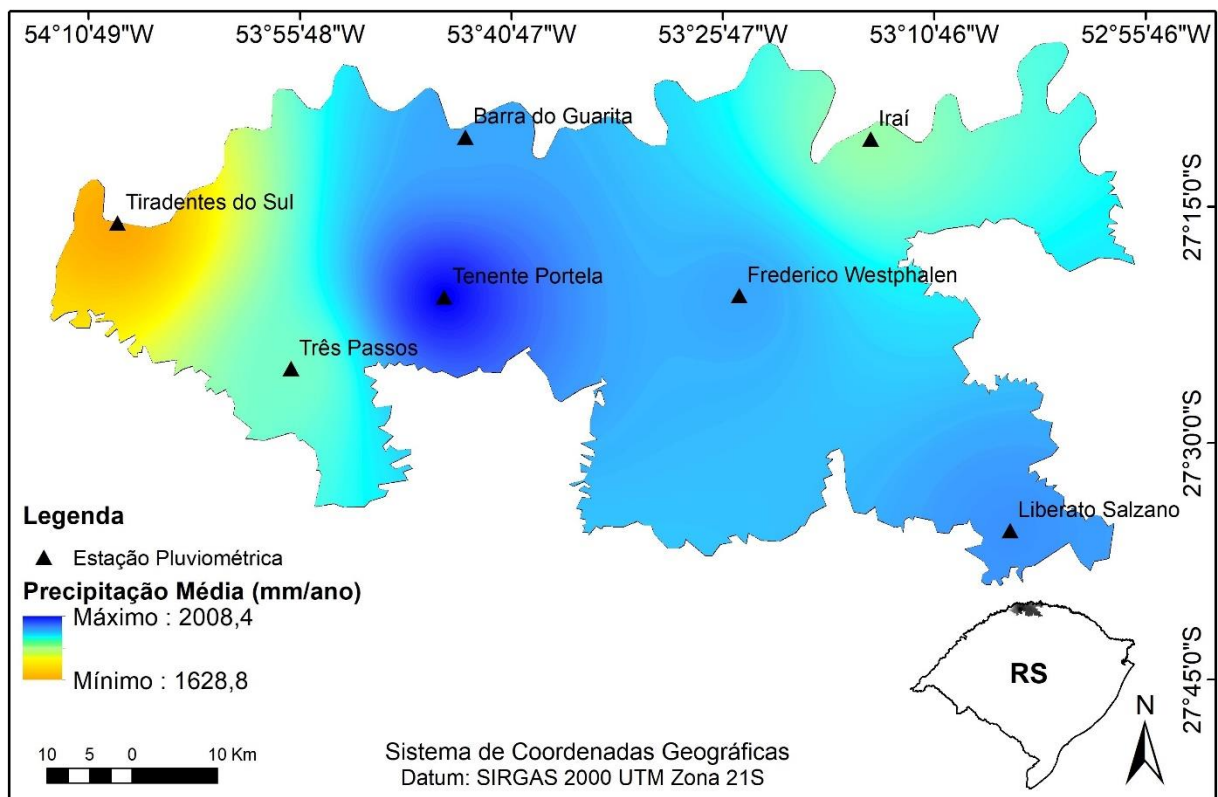
**Figura 3** Variáveis rasterizadas para cálculo de AF/RF na área de objeto do estudo. Representação sem escala.

No cálculo do Fator de Atenuação, realizado também em ArcGIS<sup>®</sup>, foram utilizados os seguintes dados especializados na forma de *raster*: RF de cada agrotóxico, capacidade de campo (FC) de cada tipo de solo (Figura 3), variabilidade da recarga líquida da água subterrânea ( $q$ ) e profundidade da água subterrânea ( $L$ ). Posteriormente foi aplicada a equação 3, pelo comando “*raster calculator*” do ArcGIS<sup>®</sup>.

A variabilidade da recarga líquida da água subterrânea ( $q$ ) foi estimada a partir de dados de precipitação. A região se caracteriza pelo clima subtropical úmido do tipo Cfa, com verões quentes e úmidos e invernos leves (Köppen, 1900). De acordo com a série histórica de 1988 a 2018, a precipitação média varia entre 1628,8 e 2008,4 mm/ano (calculada a partir das precipitações anuais das estações de Tiradentes do Sul e Tenente Portela, respectivamente).

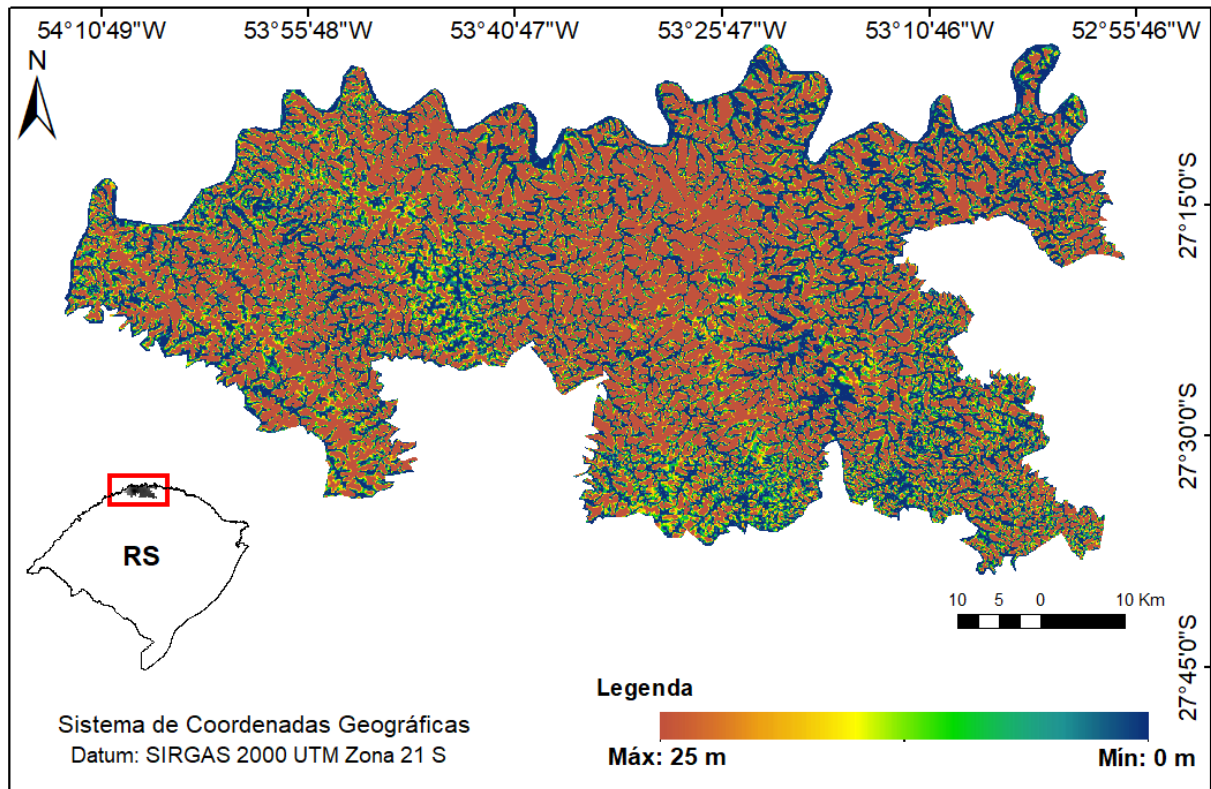
Para a espacialização da precipitação foram, também, utilizadas as médias das precipitações anuais das estações pluviométricas de Iraí (1833,7 mm), Três Passos (1852,2 mm), Frederico Westphalen (1926,0 mm), Barra do Guarita (1927,8 mm) e Liberado Salzano (1936,4 mm) (Figura 3).

A recarga da zona de intemperismo do Sistema Aquífero Serra Geral na área de estudo foi estimada em 23% da precipitação média anual (Pasini et al., 2021), o que resultou nos valores extremos de 420,23 e 518,17 mm/ano (considerando a precipitação anual média obtida nas estações de Tiradentes do Sul e Tenente Portela, respectivamente). Nas demais estações pluviométricas a recarga média anual foi estimada em: 473,09 mm (Iraí), 477,87 mm (Três Passos), 496,91 mm (Frederico Westphalen), 497,37 mm (Barra do Guarita) e 499,59 mm (Liberado Salzano). Esses valores, em mm/ano, foram convertidos para a unidade de m/ano, para o cálculo do Fator de Atenuação (Rao et al., 1985).



**Figura 4** Precipitação média anual do noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, estimada a partir de dados de precipitação anual de um período de 30 anos (de 1988 a 2018).

A profundidade do nível da água subterrânea (L), utilizada para cálculo do Fator de Atenuação, apresenta áreas com espessuras variáveis entre 0 e 25 metros, onde 0 m são as zonas de nascentes e de corpos hídricos, assumindo rios efluentes, e 25 m a profundidade máxima do nível de água do aquífero livre, localizado na zona de intemperismo dos basaltos fraturados da Formação Serra Geral, em zonas de topos de morro (Figura 5).



**Figura 5** Espacialização de espessuras da zona não saturada (profundidade do nível freático) considerando espessuras mínimas de 0 m (em nascentes e corpos hídricos) e máximas de 25 m (em zonas de topos de morro) na região noroeste do Estado do Rio Grande do Sul.

O Fator de Retardo, calculado a partir da equação 2, foi classificado (Tabela 5) e espacializado conforme o seu potencial de adsorção para o meio e o agrotóxico utilizado; assim como o cálculo do Fator de Atenuação (equação 3), foi classificado e espacializado conforme o potencial de lixiviação do agrotóxico.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### MÉTODO DE GOSS



De acordo com o método de GOSS, 50% dos agrotóxicos (dicloreto de paraquate, atrazina, imidacloprido, simazina, protioconazol) apresentaram alto potencial de ser transportados dissolvidos em águas de superfície e 50% (glifosato, 2,4-D, mancozebe, acefato, trifloxistrobina) apresentaram médio potencial de transporte dissolvidos nas águas superficiais (Tabela 6). No entanto, quando associados ao sedimento, o potencial de transporte dos agrotóxicos analisados é alto em 20% dos compostos (dicloreto de paraquate, protioconazol), médio em 60% dos compostos (glifosato, atrazina, acefato, trifloxistrobina, imidacloprido, simazina) e baixo apenas para o 2,4-D e o mancozebe.

Tanto o dicloreto de paraquate como o protioconazol tem alto potencial de transporte dissolvidos nas águas ou associados aos sedimentos. A atrazina, o imidacloprido e a simazina são, preferentemente, transportados em dissolução. Nos casos do glifosato, o acefato e a trifloxistrobina, tanto podem ser transportados dissolvidos nas águas, como associados aos sedimentos.

**Tabela 6** - Potencial de transporte de agrotóxicos aplicados em municípios do noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, nas águas superficiais e associados aos sedimentos, de acordo com o método de GOSS.

<b>Agrotóxicos</b>	<b>GOSS*</b>
Glifosato	MPTAS/MPTDA
Dicloreto de Paraquate	APTAS/APTDA
Atrazina	MPTAS/APTDA
Mancozebe	BPTAS/MPTDA
2,4-D	BPTAS/MPTDA
Acefato	MPTAS/MPTDA
Trifloxistrobina	MPTAS/MPTDA
Imidacloprido	MPTAS/APTDA
Simazina	MPTAS/APTDA
Protioconazol	APTAS/APTDA

\*Potencial de Contaminação das águas superficiais: APTAS (Alto Potencial de Transporte nas Águas Superficiais associado ao sedimento em suspensão), BPTAS (Baixo Potencial de Transporte nas Águas Superficiais associado ao sedimento em suspensão), MPTAS (Médio Potencial de Transporte nas Águas Superficiais devido ao transporte associado ao sedimento em suspensão), APTDA (Alto Potencial de Contaminantes Transportados e Dissolvidos em Água), BPTDA (Baixo Potencial de Contaminantes Transportados e Dissolvidos em Água) e MPTDA (Médio Potencial de Contaminantes Transportados e Dissolvidos em Água).

Da mesma forma que os resultados de Milhome et al. (2009), o comportamento da atrazina, 2,4-D, glifosato, imidacloprido, mancozebe, dicloreto de paraquate e trifloxistrobina estão de acordo com o calculado nesse estudo. No estudo desenvolvido por Caldas et al. (2011) os resultados vão de encontro aos deste estudo para imidacloprido, trifloxistrobina, 2,4-D e atrazina; e nos casos do glifosato e a simazina, há igualdade de resultados em relação ao potencial de transporte em sedimentos.

### ÍNDICE DE GUS

De acordo com o índice de GUS, há potencial de contaminação das águas subterrâneas por lixiviação de agrotóxicos em 30% dos casos avaliados, que incluem a atrazina (índice 3,75), o imidacloprido (índice 3,61) e a simazina (índice 3,35). Não apresentam potencial de lixiviação (potencial nulo) 50% dos agrotóxicos estudados, incluindo o glifosato (índice 1), o dicloreto de paraquate (índice -2,56), o mancozeb (índice -1), o acefato, (índice 0,73) e a trifloxistrobina (índice 0,53). Em situação intermediária (Zona de Transição) estão o 2,4-D (índice 2,41) e o protioconazol (índice 2,25) (20% dos casos) (Tabela 7).

**Tabela 7** - Potencial de contaminação das águas subterrâneas pelos principais agrotóxicos utilizados no noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, estimado de acordo com o índice de GUS.

Agrotóxicos	GUS*	
Glifosato	1	N
Dicloreto de Paraquate	-2,56	N
Atrazina	3,75	PL
Mancozebe	-1	N
2,4-D	2,41	ZT
Acefato	0,73	N
Trifloxistrobina	0,53	N
Imidacloprido	3,61	PL
Simazina	3,35	PL
Protioconazol	2,25	ZT

\*Potencial de Contaminação das águas subterrâneas: PL (Potencial de Lixiviação), N (Potencial Nulo), ZT (Zona de Transição)

Agrotóxicos com potencial nulo de lixiviação apresentam elevado coeficiente de adsorção à matéria orgânica do solo (Koc), quando comparados ao Koc dos agrotóxicos da zona de transição e ao Koc dos agrotóxicos que tem potencial de lixiviação (Tabela 7).

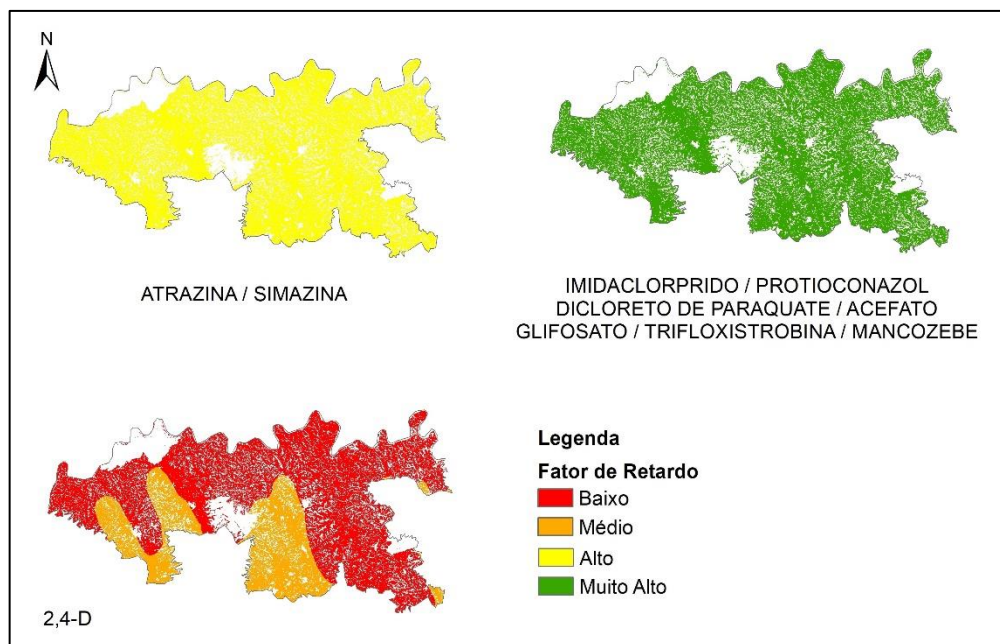
Os resultados para atrazina, imidacloprido, 2,4-D, glifosato, acefato, mancozebe e trifloxistrobina estão de acordo com os resultados obtidos por autores como Milhome et al. (2009) e Caldas (2011). Ainda, o dicloreto de paraquate, por ser da mesma família do paraquate e do glifosato, também possui elevada solubilidade em água, potencializando o transporte pelas chuvas (Santos et al., 2017).

A exposição a herbicidas como a atrazina e simazina (que apresentaram alto potencial de lixiviação neste estudo) pode ser extremamente prejudicial à saúde humana, pois podem atingir o sistema reprodutor e hormonal nos casos de toxicidade aguda e crônica (Carmo et al., 2013).

### **Estimativa dos Fatores de Retardo e de Atenuação**

A análise do potencial de adsorção (Fator de Retardo) dos dez agrotóxicos de maior relevância aplicados nos solos agrícolas dos municípios estudados indica que:

- 1) Em latossolo, 70% dos agrotóxicos utilizados (glifosato, dicloreto de paraquate, mancozebe, acefato, trifloxistrobina, imidacloprido, protioconazol) têm muito alto potencial de adsorção, enquanto a atrazina e a simazina apresentam alto potencial e o 2,4-D médio potencial de adsorção em latossolos (Figura 6);
- 2) Em cambissolo, 70% dos agrotóxicos utilizados (glifosato, dicloreto de paraquate, mancozebe, acefato, trifloxistrobina, imidacloprido e protioconazol) apresentam muito alto potencial de adsorção, enquanto a atrazina e a simazina têm alto potencial de adsorção em cambissolos e o 2,4-D tem baixo potencial de adsorção (Figura 6).



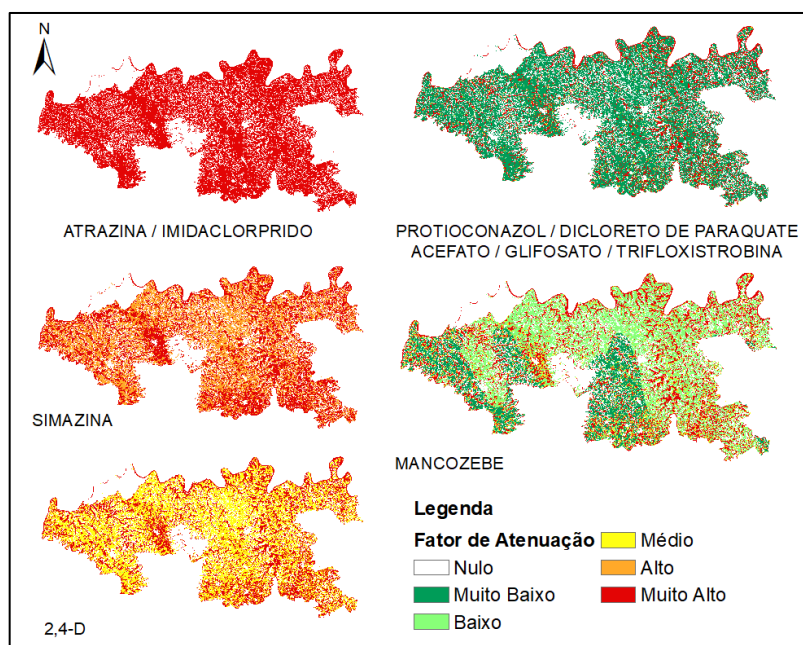
**Figura 6** Fator de Retardo estimado com base na mobilidade dos dez agrotóxicos de maior relevância aplicados em solos agrícolas no noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Representação sem escala

O potencial de muito alta ou alta adsorção ao solo diz respeito às características do coeficiente de afinidade do agrotóxico com a matéria orgânica do solo ( $K_{oc}$ ) e depende de cada agrotóxico. O potencial de adsorção também depende do tipo de solo, pois solos com características mais argilosas, como é o caso do latossolo, possuem maior superfície específica com alta capacidade de adsorver agrotóxicos. Outro fator que influencia sobre as características do agrotóxico é a constante da Lei de Henry ( $K_H$ ), pois os agrotóxicos que apresentaram elevado Fator de Retardo (RF), possuem baixos valores de  $K_H$  (entre  $10^{-10}$  e  $10^{-4}$ ). Médios e baixos potenciais de adsorção (como o caso do 2,4-D), que indicam maior mobilidade, estão relacionados aos baixos valores de  $K_{oc}$  e  $K_H$ , e dependem do solo onde o agrotóxico foi aplicado, conforme foi também observado por Chaves (2010) e Souza (2014).

Entretanto, o manejo do solo também influencia no comportamento do agrotóxico que, ao ser aplicado em solos com elevada atividade de matéria orgânica (como é o caso dos que têm aplicação simultânea com fertilizantes orgânicos como esterco, dejetos bovinos e suínos, entre outros), tende a ficar adsorvido no solo, diminuindo, assim, a sua mobilidade. Por outro lado,

quando ocorre um aumento do conteúdo de carbono orgânico em solução no solo, a mobilidade do agrotóxico pode ser ativada, pois o carbono orgânico em solução favorece a complexação, possibilitando o transporte do agrotóxico para as camadas mais profundas (Ribeiro et al., 2007).

Quanto à aplicação do Fator de Atenuação (AF), os agrotóxicos com muito alto ou alto potencial de adsorção ao solo (RF) apresentam Fatores de Atenuação negativos, e são classificados com potencial de lixiviação nulo ou muito baixo para águas subterrâneas (Figura 6). As exceções são a atrazina e o imidaclorprido, o que pode ocorrer devido a seu alto tempo de meia vida, pois na aplicação do Fator de Retardo (RF) essa informação não é considerada (Canuto et al., 2010; Félix et al., 2007). Assim, os agrotóxicos que apresentam maior persistência no ambiente (alto valor de  $t_{1/2}$  e Koc menor) têm maior potencial de contaminação das águas subterrâneas (Rao et al., 1985). Tais resultados podem ser observados em cambissolo e latossolo para dicloreto de paraquate, protioconazol, acefato, glifosato, trifloxistrobina e em latossolo para mancozebe (Figura 7).



**Figura 7** Fator de Atenuação (AF) estimado com base no potencial de lixiviação dos dez agrotóxicos de maior relevância aplicados em solos agrícolas na região de estudo no noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Representação sem escala

O comportamento em relação aos Fatores de Retardo e Atenuação observado para a atrazina e o imidacloprido é comum entre os agrotóxicos estudados por outros autores (Gaona et al., 2019; Spadotto et al., 2002; Bernard et al., 2005; De Paz & Rubio, 2006). Os agrotóxicos 2,4-D e simazina apresentam médio a alto potencial de lixiviar, de acordo com o tempo de meia vida (dias). Mesmo os agrotóxicos que apresentaram de baixo a nulo potencial de contaminação das águas subterrâneas podem ser potenciais contaminantes do ambiente, uma vez que estão sujeitos ao escoamento superficial (Rao et al., 1983). Considerando a proximidade com os corpos hídricos, na área de estudo há elevada tendência de contaminação de rios e lagos, e de transporte hídrico superficial e subterrâneo desses compostos, principalmente em função da baixa espessura não saturada nas proximidades dos cursos d'água.

### ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE MODELOS

Foi realizada a análise conjunta do potencial de contaminação das águas superficiais (método de GOSS), o potencial de contaminação das águas subterrâneas (índice de GUS) e o potencial de adsorção do agrotóxico no solo (RF) (Tabela 7).

Em relação ao Fator de Atenuação (AF), o parâmetro de espessura não saturada utilizado no cálculo confere elevada variabilidade espacial de AF a alguns agrotóxicos (Figura 7), pelo que foi analisado utilizando métodos cartográficos.

**Tabela 8** - Sumarização dos resultados para comparativo de metodologias na área de estudo

Agrotóxicos	Fator de Retardo <sup>1</sup>		GUS <sup>2</sup>	GOSS <sup>3</sup>
	Latossolo	Cambissolo		
Glifosato	Muito Alto	Muito Alto	N	MPTAS/MPTDA
Dicloreto de Paraquate	Muito Alto	Muito Alto	N	APTAS/APTDA
Atrazina	Alto	Alto	PL	MPTAS/APTDA
Mancozebe	Muito Alto	Muito Alto	N	BPTAS/MPTDA
2,4-D	Alto	Baixo	ZT	BPTAS/MPTDA
Acefato	Muito Alto	Muito Alto	N	MPTAS/MPTDA
Trifloxistrobina	Muito Alto	Muito Alto	N	MPTAS/MPTDA
Imidacloprido	Muito Alto	Muito Alto	PL	MPTAS/APTDA
Simazina	Alto	Alto	PL	MPTAS/APTDA
Protiocozol	Muito Alto	Muito Alto	ZT	APTAS/APTDA

1 – Potencial de Adsorção do agrotóxico no solo: > 10 muito alto; 3 - 10 alto; 2 - 3 médio; 1 - 2 baixo

2 – Potencial de Contaminação das águas subterrâneas: PL (Potencial de Lixiviação), N (Potencial Nulo), ZT (Zona de Transição)

3 – Potencial de Contaminação das águas superficiais: APTAS (Alto Potencial de Transporte nas Águas Superficiais), BPTAS (Baixo Potencial de Transporte nas Águas Superficiais), MPTAS (Médio Potencial de Transporte nas Águas Superficiais), APTDA (Alto Potencial de Contaminantes Transportados e Dissolvidos em Água), BPTDA (Baixo Potencial de Contaminantes Transportados e Dissolvidos em Água) e MPTDA (Médio Potencial de Contaminantes Transportados e Dissolvidos em Água)

Diante dos resultados apresentados, destaca-se que o glifosato representa sozinho, cerca de 40% do consumo de agrotóxicos no Brasil, sendo algumas plantas indesejadas mais resistentes a esse veneno e necessitando de uma quantidade maior de aplicação (Carneiro, 2015). Além disso, no processo de colheita da soja, também são utilizados outros agrotóxicos presentes no estudo com: 2,4-D e paraquat.

É possível observar que 50% dos agrotóxicos (glifosato, dicloreto de paraquate, mancozebe, acefato e trifloxistrobina), não possuem potencial de serem lixiviados para as águas subterrâneas, conforme o índice de GUS, e apresentam alto potencial de ficarem adsorvidos nos solos, segundo o Fator de Retardo (RF).

Em relação às águas superficiais, os agrotóxicos que apresentam médio e alto potencial de serem transportados associados ao sedimento (APTAS), possuem alto Fator de Retardo (RF); e os que apresentam baixo Fator de Retardo (RF), também apresentaram baixo potencial de serem transportados por sedimento (BPTAS).

No que concerne ao potencial de contaminação das águas superficiais, 50% dos agrotóxicos apresentaram alto potencial (APTDA) de ser transportados dissolvidos em água; e médio potencial de transporte em solução (MPTDA) foi observado em 50% dos casos. Tal resultado está diretamente relacionado à solubilidade do agrotóxico em água. Pesquisas realizadas em municípios do Rio Grande do Sul detectaram agrotóxicos em águas superficiais, como a simazina, o imidacloprido e a atrazina, nas cidades de Agudo (Bortoluzzi et al., 2006), São Sepé (Todeschini, 2013) e nos rios Ibicuí e Uruguai (Todeschini & Feuerharmel, 2010). Também, o 2,4-D foi identificado nos rios da Depressão Central do RS (Marchezan et al., 2010) e nas

cidades de Rio Grande e Santa Vitória do Palmar (Demoliner et al., 2010); enquanto que a trifloxistrobina foi detectada nas águas superficiais dos rios Ibicuí e Uruguai (Todeschini & Feuerharmel, 2010). Nas águas subterrâneas, estudos indicaram a presença de 2,4-D (Rio Grande - RS), atrazina, simazina e imidacloprido (Agudo, Arvorezinha e Cristal - RS), atrazina e imidacloprido (Candelária – RS), atrazina e simazina (Cerro Largo - RS) (Bortoluzzi et al., 2007; Caldas et al., 2010; Lucas, 2016; Welter, 2018).

## CONCLUSÃO

Os agrotóxicos mais utilizados nos municípios estudados são: glifosato, dicloreto de paraquate, atrazina, mancozebe, 2,4-D, acefato, trifloxistrobina, imidacloprido, simazina e protioconazol.

A aplicação do método de GOSS, o índice de GUS e o modelo AF/RF, permitiram identificar que: 80% dos agrotóxicos (glifosato, dicloreto de paraquate, atrazina, acefato, trifloxistrobina, imidacloprido, simazina e protioconazol) têm potencial médio a alto de contaminação das águas superficiais tanto dissolvidos em água, quanto, associadas aos sedimentos (método de GOSS); 50% dos agrotóxicos (atrazina, 2,4-d, imidacloprido, simazina e protioconazol) tem potencial de lixiviação e, conseqüentemente, para atingir as águas subterrâneas, ou estão em zona de transição (índice de GUS); e, de acordo com o Fator de Retardo, 70% desses agrotóxicos (glifosato, dicloreto de paraquate, mancozebe, acefato, trifloxistrobina, imidacloprido e protioconazol) apresentam alta capacidade de adsorção no solo.

No entanto, quando associados ao sedimento o potencial de transporte dos agrotóxicos analisados é alto em 20% dos casos (dicloreto de paraquate, protioconazol), médio em 60% dos agrotóxicos (glifosato, atrazina, acefato, trifloxistrobina, imidacloprido, simazina) e baixo em 20% (2,4-D, mancozebe).



Baseado nos resultados do Fator de Atenuação (AF), é possível afirmar que a atrazina e o imidacloprido apresentam muito alto potencial de lixiviação para águas subterrâneas, enquanto o 2,4-D e a simazina apresentaram alto a médio potencial de lixiviação para águas subterrâneas.

De acordo com o comportamento dos agrotóxicos, face as características geológicas e hidrogeológicas da área de estudo, substâncias como: atrazina, 2,4-D, imidacloprido, simazina e protioconazol devem ter intenso monitoramento, pois têm significativo potencial de contaminar o solo, as águas superficiais e as águas subterrâneas.

Embora alguns modelos não utilizem informações complexas do meio, como o índice de GUS e método de GOSS, quando utilizados em conjunto com modelos complexos, do tipo AF/RF, facilitam a análise integrada do potencial de mobilidade e adsorção do agrotóxico nos diferentes compartimentos do meio físico (solos, águas subterrâneas, águas superficiais e sedimentos).

Assim, recomenda-se que os municípios utilizem aplicação de estudos que utilizem técnicas de amostradores passivos POCIS (Polar Organic Chemical Integrative Sampler) e a adoção dos biofilmes epilíticos para aprimorar o monitoramento das águas utilizadas para abastecimento humano.

## REFERÊNCIAS

- ANA, Agência Nacional De Águas. **HIDROWEB: Dados Hidrológicos – Séries Históricas**, 2019. Disponível em: < <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>>. Acessado em: 10jun2020.
- ANDRADE, A.S; QUEIROZ, V.T.; LIMA, D.T.; DRUMOND, L.C.D.; QUEIROZ, M.E.L.R.; NEVES, A.A. Análise de risco de contaminação de águas superficiais e subterrâneas por pesticidas em municípios do Alto Paranaíba - MG. **Quím. Nova**, São Paulo, v.34, n.7, p.1129-1135, 2011.

ANDREA, M. D. Contaminação do solo por pesticidas. Centro de Proteção Ambiental. **Instituto Biológico**. São Paulo – SP, v.60, n.2, p.63-65, 1998.

ANVISA Agência Nacional De Vigilância Sanitária. Consulta Pública nº 262, de 10 de outubro de 2016.

BALBINOT, A.A.B.; MORAES, A.; PELISSARI, A.; VEIGA, M.; DIECKOW, J.; NEVES, C.N. Propriedades físicas em Cambissolo Háplico manejado sob o sistema integração lavoura-pecuária. **Rev. de Ciências Agroveterinárias**, v.8, n.1, p.25-34, 2009.

BAPAT, G.; LABADE, C.; CHAUDHARI, A.; ZINJARDE, S. Silica nanoparticle based techniques for extraction, detection, and degradation of pesticides, **Advances in Colloid and Interface Science**, v.237, p.1-14, 2016.

BARCELÓ, D.; HENNION, M.C. Trace Determination of Pesticides and their degradation products in water, 2nd ed., **Elsevier**. Amsterdam. 2003.

BARRIGOSI, J.A.F.; LANNA, A.C.; FERREIRA, E. Inseticidas registrados para a cultura do arroz e análise de parâmetros indicadores de seu comportamento no ambiente. Embrapa Arroz e Feijão. **Circular Técnica**. 2005.

BARRIUSO, E.; CALVET, R.; SCHIAVON, M.; SOULAS, G. Les pesticides et les polluants organiques des sols: transformations et dissipation. **Étude et Gestion des Sols**, Ardon, v.3, n.4, p.279-296, 1996.

BAUM, C; MANCUSO, M.A.; FRITZEN, R. Aplicação do método WTF no estudo da variabilidade da recarga em aquífero urbano. **Revista Geociências**, v.37, n.1, p.85-98, 2018.

BAYER. Bayer Crop Science Australia - Flint® 500 WG Fungicide. 2020. Disponível em: <https://www.crop.bayer.com.au/find-crop-solutions/by-product/fungicides/flint-500-wg-fungicide>. Acessado em: 06nov2020.

BERNARD, H.; CHABALIER, P.F.; CHOPART, J.L.; LEGUBE, B.; VAUCLIN, M. Assessment of herbicide leaching risk in two tropical soils of Reunion Island (France). **Journal of Environmental Quality**, v.34, n.2, p.534-543, 2005.

BERTONI, J.C.; TUCCI, C.E.M. Precipitação. In: Tucci, C.E.M. (Org) **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Porto Alegre: UFRGS, p.177-241, 2007.

BOMBARDI, L. **Geography of Asymmetry: the vicious cycle of pesticides and colonialism in the commercial relationship between Mercosur and the European Union**. Ed.: The Left. 52 p. 2021.

BORTOLUZZI, E.C.; RHEINHEIMER, D.D.S.; GONÇALVES, C.S.; PELLEGRINI, J.B.; ZANELLA, R.; COPETTI, A.C. Contaminação de águas superficiais por agrotóxicos em função do uso do solo numa microbacia hidrográfica de Agudo, RS. **Rev. Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.4, p.881-887, 2006.

BORTOLUZZI, E.C.; RHEINHEIMER, D.S.; GONÇALVES, C.S.; PELLEGRINI, J.B.; MARONEZE, A.M.; KURZ, M.H.; BAKAR, N.M.; ZANELLA, R. Investigation of the occurrence of pesticide residues in rural wells and surface water following application to tobacco. **Química Nova**, v.30, n.8, p.872-1876, 2007.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Brasília: **Diário Oficial da União**, p. 38, 2012.

BRASIL. Portaria de Consolidação nº. 5, de 28 de Setembro de 2017. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 2017.

BURALLI, R.J.; RIBEIRO, H.; LEÃO, R.S.; MARQUES, R.C.; GUIMARÃES, J.R. Data on pesticide exposure and mental health screening of family farmers in Brazil, **Data in Brief**, v.25, p.103-993, 2019.

CABRERA, L.; COSTA, F.P.; PRIMEL, E.G. Estimativa de risco de contaminação das águas por pesticidas na região sul do estado do RS. **Quím. Nova**, São Paulo, v.31, n.8, p.1982-1986, 2008.

CALDAS, S. S.; ZANELLA, R.; PRIMEL, E. E. Risk estimate of water contamination and occurrence of pesticides in the South of Brazil. **Herbicides and Environment**, v. 23, p. 471-492, 2011.

CALDAS, S.S.; DEMOLINER, A.; COSTA, F.P.; D'OCA, M.G.M.; PRIMEL, E.G. Pesticide Residue Determination in Groundwater using Solid-Phase Extraction and High-Performance Liquid Chromatography with Diode Array Detector and Liquid Chromatography-Tandem Mass Spectrometry. **Journal of The Brazilian Chemical Society**. v.21, n.4, p.642-650, 2010.

CANUTO, T. G.; GAMA, A. F.; SÁ BARRETO, F. M.; NETO, M. D. F. A. Estimativa do Risco Potencial de Contaminação por Pesticidas de Águas Superficiais e Subterrâneas do Município de Tianguá-CE, com Aplicação do Método de GOSS e Índice De GUS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E XVII ENCONTRO NACIONAL DE PERFURADORES DE POÇOS, 16, 2010, São Lucas – MA. Anais... **Águas Subterrâneas**, 2010.

CARMO, D.A.D.; CARMO, A.P.B.D.; PIRES, J.M.B.; OLIVEIRA, J.L. Comportamento ambiental e toxicidade dos herbicidas atrazina e simazina. **Revista Ambiente & Água**, v. 8, n.1, p.133-143, 2013.

CARNEIRO, F.F. **Dossiê ABRASCO: um alerta sobre os impactos dos agrotóxicos na saúde**. EPSJV/Expressão Popular, 2015.

CASAGRANDE, A. **Índice agroambiental para avaliar o uso de agrotóxicos (IAA) no estado do Paraná**. Curitiba, 2018, 163p. Tese (Doutorado Tecnologia e Sociedade) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

CHAVES, H.M.L. Indicador de Avaliação e Manejo do Risco de Contaminação da Água por Pesticidas. In: José Mario Lobo Ferreira et al., (Org.). **Indicadores de Sustentabilidade em Sistemas de Produção Agrícola**. 1ª ed. Belo Horizonte: Epamig, v.1, p.203-230, 2010.

CHERUBIN, M.R.; EITELWEIN, M.T.; FABBRIS, C.; WEIRICH, S.W.; SILVA, R.F.D.; SILVA, V.R.D.; BASSO, C. J. Qualidade física, química e biológica de um Latossolo com diferentes manejos e fertilizantes. **Rev. Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, n.2, p.615-625, 2015.

COHEN, S.Z.; WAUCHOPE, R.D.; KLEIN, A.W.; EADSFORTH, C.V.; GRANEY, R. Offsite transport of pesticides in water mathematical models of pesticide leaching and runoff. **International Union of Pure and Applied Chemistry**, v.67, n.12, p.2109-2148, 1995.

COX, L., KOSKINEN, W.C.; YEN, P.Y. Sorption–Desorption of Imidacloprid and Its Metabolites in Soils. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.45, n.4, p.468–1472, 1997.

DE CASTRO, L.N.; NAVAL, L.P. Toxicidade Determinada Pelo Uso Dos Agrotóxicos Em Organismos Indicadores De Qualidade Da Água. **Rev. Brasileira de Ciências Ambientais**, v.53, p.69-80, 2019.

DE PAZ, J.M.; RUBIO, J.L. Application of a GIS–AF/RF model to assess the risk of herbicide leaching in a citrus-growing area of the Valencia Community, Spain. **Science of the Total Environment**, v.371, n.1-3, p.44-54, 2006.

DEMOLINER, A.; CALDAS, S.S.; COSTA, F.P.; GONÇALVES, F.F.; CLEMENTIN, R.M.; MILANI, M.R.; PRIMEL, E.G. Development and validation of a method using SPE and LC-ESI-MS-MS for the determination of multiple classes of pesticides and metabolites in water samples. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v.21, n.8, p.1424-1433, 2010.

EMBRAPA - Mapa de Solos do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, 2001 - Escala 1:5.000.000

ESRI. ArcGIS Desktop 10.2.2. Redlands, 2014.

FAN, F.M.; MESQUITA, M.O.; SANTOS, V.C.F.D.; LUCAS, E.O.; ZANELLA, R.; PRESTES, O.D.; BANDEIRA, N.M.G. Resíduos de agrotóxicos em água e solo de município em região produtora de fumo no Rio Grande do Sul. **Saúde Coletiva, Desenvolvimento e (In) Sustentabilidades no Rural**. p. 89-108, 2018.

FAO. PARAQUAT (057). 2020. Disponível em: [http://www.fao.org/fileadmin/templates/agphome/documents/Pests\\_Pesticides/JMPR/Evaluation04/paraquat.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/templates/agphome/documents/Pests_Pesticides/JMPR/Evaluation04/paraquat.pdf), Acessado em: 06nov2020.

FÉLIX, F.F.; NAVICKIENE, S.; DOREA, H.S. Poluentes Orgânicos Persistentes (POP's) como Indicadores da Qualidade dos Solos. **Revista Fapese**, v.3, n.2, p. 39-62, 2007

FERREIRA, M.C. **Aplicações de fungicida para o controle da ferrugem asiática da soja e interações com diferentes arranjos espaciais da cultura**. Passo Fundo – RS, 2009, 62p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade de Passo Fundo.

GAONA, L.; BEDMAR, F.; GIANELLI, V.; FABERI, A.J.; ANGELINI, H. Estimating the risk of groundwater contamination and environmental impact of pesticides in an agricultural basin in Argentina. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v.16, n.11, p. 6657-6670, 2019.

GAVRILESCU, M. Fate of pesticides in the environment and its bioremediation. **Engineering in Life Sciences**, v.5, n.6, p.497-526, 2005.

GIAROLA, N.F.B.; SILVA, A.P.; IMHOFF, S. Relações entre propriedades físicas e características de solos da região sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, n.4, p.885-893, 2002.

GONÇALVES, A.C. Descontaminação e monitoramento de águas e solos na região amazônica utilizando materiais adsorventes alternativos, visando remoção de metais pesados tóxicos e pesticidas. **Rev. Inclusão Social**, v. 6, n. 2, 2013.

GOOGLE. **Google Earth Engine**. Disponível em: <https://earthengine.google.com/>. Acessado em: 05maio2020.

GOSS, D.W. Screening procedure for soils and pesticides for potential water quality impacts. **Weed Technol.** v.6, n.3, p.701-708, 1992.

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

HASENACK, H.; WEBER, E.(org.) **Base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul - escala 1:50.000**. Porto Alegre: UFRGS Centro de Ecologia. 2010. 1 DVD-ROM. (Série Geoprocessamento n.3). ISBN 978-85-63483-00-5 (livreto) e ISBN 978-85-63843-01-2 (DVD).

HUNTER, V.H.; STABBE, E.H. Movement and persistence of picloram in soil. **Weed Science, Ithaca**, v. 20, n. 5, p. 486-489, 1972.

IBAMA. Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Relatório de Comercialização de Agrotóxico** – Boletim 2019. Atualizado em 2020. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/agrotoxicos/relatorios-de-comercializacao-de-agrotoxicos#boletinsanuais>. Acessado em: 15jan2021.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário. 2017**. Disponível em: <<https://censoagro2017.ibge.gov.br/>>. Acessado em: 06maio2020.

INCA – Instituto Nacional Do Câncer. **Agrotóxico**. 2020. Disponível em: <https://www.inca.gov.br/exposicao-no-trabalho-e-no-ambiente/agrotoxicos>. Acessado em: 15abril2020.

IUPAC - International Union of Pure and Applied Chemistry. **A to Z List of Active Ingredients**, 2019. Disponível em: <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/iupac/atoz.htm> Acessado em: 30ago2019.

- KHAN, M.A.; LIANG, T. Mapping pesticide contamination potential. **Environmental Management**, v.13, n.2, p.233-242, 1989.
- KONTIOKARI, V.; MATTSOFF, L. Proposal of Environmental Quality Standards for Plant Protection Products. **Finnish Environment Institute (SYKE)**. 2011.
- KÖPPEN, W. Versuch einer Klassifikation der Klimate, vorzugsweise nach ihren Beziehungen zur Pflanzenwelt. **Geographische Zeitschrift**, v.6, p.657-679, 1900.
- LASKOWSKI, D.A.; GORING, C.A.I.; MCCALL, P.J.; SWANN, R.L. Terrestrial Environment. In: Conway, R.A. (Org.). **Environmental Risk Analysis for Chemicals**. New York: Krieger Publishing Company. p.198-240. 1982.
- LI, A.; WANG, A.; LIANG, S.; ZHOU, W. Eco-environmental vulnerability evaluation in mountainous region using remote sensing and GIS – a case study in the upper reaches of Minjiang River, China. **Ecological Modeling**, v.192, p.175–187. 2006.
- LI, Q.; DU, Y.; XU, Y.; WANG, X.; MA, S.; GENG, J.; CAO, P.; SUI, T. Rapid and sensitive detection of pesticides by surface-enhanced Raman spectroscopy technique based on glycidyl methacrylate–ethylene dimethacrylate (GMA–EDMA) porous material, **Chinese Chemical Letters**, v.24, n.4, p.332-334, 2013.
- LOPES, C.A. É possível produzir alimentos para o Brasil sem agrotóxicos?. **Cienc. Culto.** , São Paulo, v. 69, n. 4, p. 52-55, 2017.
- LOAGUE, K. The impact of land use on estimates of pesticide leaching potential: Assessments and uncertainties. **Journal of contaminant hydrology**, v.8, n.2, p.157-175, 1991.
- LOURENCETTI, C.; SPADOTTO, C. A.; SILVA, M. S.; RIBEIRO, M. L. Avaliação do potencial de contaminação de águas subterrâneas por pesticidas: comparação entre métodos de previsão de lixiviação, **Rev. de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, v.15, p.1-14, 2005.
- LOPES, C.V.A; ALBUQUERQUE, G.S.C. Agrotóxicos e seus impactos na saúde humana e ambiental: uma revisão sistemática. **Rev. Saúde debate**, v. 42, n. 117, p. 518-534., 2018.



LUCAS, E.O. Análise de contaminação por agrotóxicos na água e solos cultivados com tabaco em Candelária-RS. In: **SALÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFRGS**, 28, 2016, Porto Alegre. Resumos Expandidos... Porto Alegre, 2016.

LUCIANO, R.V.; BERTOL, I.; BARBOSA, F.T.; KURTZ, C.; FAYAD, J.A. Propriedades físicas e carbono orgânico do solo sob plantio direto comparados à mata natural, num Cambissolo Háplico. **Rev. de Ciências Agroveterinárias**, v.9, n.1, p.9-19. 2010.

MACIEL, C.D.G.; HELVIG, E.O.; DA SILVA, A.A. P.; MATIAS, J.P.; SANTOS NETO, J.D.S.; KARAM, D. Deposição da aplicação de herbicidas e fertilizante foliar no manejo de plantas daninhas na cultura do milho. **Rev. Brasileira de Milho e Sorgo**, v.18, n.3, p.364-378, 2019.

MANCUSO, M.A.; FLORES, B.A.; ROSA, G.M.; SCHROEDER, J.K.; PRETTO, P.R.P. Características da taxa de infiltração e densidade do solo em distintos tipos de cobertura de solo em zona urbana. **Rev. Monografias Ambientais**, v.13, n.1, p.2890-2998, 2014.

MANCUSO, M.A.; SANTOS, C.E. Avaliação hidrogeológica quali-quantitativa do aquífero fraturado Serra Geral no noroeste do Rio Grande do Sul. **Geologia USP. Série Científica**, v.21, n.1, 2021. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/guspssc/article/view/183948>, acesso em jan. 2019. DOI: <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9095.v21-176588>.

MARCHESAN, E.; SARTORI, G.M.S.; AVILA, L.A.D.; MACHADO, S.L.D.O.; ZANELLA, R.; PRIMEL, E.G.; MACEDO, V.R.M.; MARCHEZAN, M.G. Resíduos de agrotóxicos na água de rios da Depressão Central do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. **Rev. Ciência Rural**, v. 40, p. 1053-1059, 2010.

MARTINAZZO, R.; DICK, D.P.; HIRSCH, M.M.; LEITE, S.B.; PERALBA, M.D.C.R. Sorção de atrazina e de mesotriona em latossolos e estimativa do potencial de contaminação. **Quím. Nova**, v.34, n.8, p.1378-1384, 2011.

MATOS, A.S. **Análise das intoxicações exógenas por agrotóxicos no Brasil, entre 2007 a 2012**. Brasília: Universidade de Brasília. Monografia, 2013, 50 p.

MAZURANA, M. **Atributos físicos, mineralógicos e matéria orgânica de solos relacionados à capacidade de suporte de carga**. Porto Alegre – RS, 2011, 169p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

MILHOME, M.A.L.; SOUSA, D.O.B.; LIMA, F.A.F.; NASCIMENTO, R.F. Avaliação do potencial de contaminação de águas superficiais e subterrâneas por pesticidas aplicados na agricultura do Baixo Jaguaribe, CE. **Eng. Sanit. Ambient.**, v.14, n.3, p.363-372, 2009.

NARENDERAN, S.T.; MEYYANATHAN, S.N.; BABU, B. Review of pesticide residue analysis in fruits and vegetables. **Pre-treatment, extraction and detection techniques, Food Research International**, v.133, 2020.

ORTIGARA, C.; KOPPE, E.; LUZ, F.B.; BERTOLLO, A.M.; KAISER, D.R.; SILVA, V.R. Uso do Solo e Propriedades Físico-Mecânicas de Latossolo Vermelho. **Rev. Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, p.619-626, 2014.

PASINI, F.; MANCUSO, M.A.; FORTES, P.R.; BREUNIG, F.M.; FRITZEN, R.R. Recarga de Aquífero em Floresta Estacional Decidual Nativa (Bioma de Mata Atlântica). **Rev. Ciência Florestal – UFSM**. Em avaliação.

PAUMGARTTEN, F.J.R. Pesticides and public health in Brazil, **Current Opinion in Toxicology**, v.22, p.7-11, 2020.

PEDROSA, M.G. **Culturas Anuais**. NT editora, 161p. 2014.

PEREIRA, R.A.; COSTA, C.M.L.; LIMA, E. M. O Impacto Dos Agrotóxicos Sobre A Saúde Humana e o Meio Ambiente. **Revista Extensão**, v.3, n.1, p.29-37. 2019.

PIGNATI, W.A.; LIMA, F.A.N.D.S.; LARA, S.S.D.; CORREA, M.L.M.; BARBOSA, J.R.; LEÃO, L.H.D. C.; PIGNATTI, M.G. Distribuição espacial do uso de agrotóxicos no Brasil:

uma ferramenta para a Vigilância em Saúde. **Ciênc. Saúde Coletiva**. v.22, n.10, p.3281-3293, 2017.

PINHEIRO, A.; SILVA, M.R.; KRAISCH, R. Presença de pesticidas em águas superficiais e subterrâneas na bacia do Itajaí, SC. **Rev. de Gestão de Água da Ame.Lat**, v.7, n.2, p.17-26, 2010.

PIRES, F.R.; SOUZA, C.M.; SILVA, A.A.; PROCÓPIO, S.O.; FERREIRA, L.R. Fitorremediação de solos contaminados com herbicidas. **Rev. Planta Daninha**, v.21, n.2, p.335-341, 2003.

PRATES, C.B.; GEBARA, S.S.; RE-POPPI, N. Análise de pesticidas organoclorados em água usando a microextração em fase sólida por headspace com cromatografia gasosa e espectrometria de massas. **Quím. Nova**, São Paulo. v.34, n.7, p.1260-1264, 2011.

PROJETO MAPBIOMAS – Coleção 4.0 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil. Disponível em: <https://plataforma.mapbiomas.org/map#coverage>. Acessado em: 15abril2020.

RAO, P.; HORNBY, A.; JESSUP, R. Indices for taking the potential for pesticide contamination of groundwater. **Soil and Crop Science Society of Florida Proceedings**, v.44, p.1-8, 1985.

RIBEIRO, M.L.; LOURENCETTI, C.; PEREIRA, S.Y.; MARCHI, M.R.R. Contaminação de águas subterrâneas por pesticidas: avaliação preliminar. **Quím. Nova**, v.30, n.3, p.688-694, 2007.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria de Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento Rural.

**Sistema de Gestão Integrada de Agrotóxicos (SIG@)**, 2019. Disponível em: <https://www.agricultura.rs.gov.br/sig-clique-aqui>. Acessado em: 10março2019.

ROSA, I.F.; PESSOA, V.M.; RIGOTTO, R.M. Introdução: agrotóxicos, saúde humana e os caminhos do estudo epidemiológico. In: Rigotto, R. M. (Org.). **Agrotóxicos, Trabalho e**

**Saúde:** vulnerabilidade e resistência no contexto da modernização agrícola no Baixo Jaguaribe/CE. Fortaleza: Edições UFC. 2011.

SANTOS, J.L.O.; LEITE, O. Avaliação do Risco de Contaminação de Águas Subterrâneas na Região Oeste da Bahia pelo Inseticida Carbofuran, empregando os Modelos Attenuation Factor (AF) e Retardation Factor (RF). **Orbital: The Electronic Journal of Chemistry**, v.1, n.1, p.28-35, 2016.

SANTOS, R.A.R.; ROCHA, A.S.; BEM, C.C. **Potencial Contaminação por Agrotóxicos: Estudo de Caso na Bacia do Paraná III.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 27, 2017, Florianópolis. Anais...Florianópolis, 2017.

SEBEN, D. **Avaliação de variáveis de qualidade da água e contaminantes ambientais emergentes em águas de consumo humano no Rio Grande do Sul.** Frederico Westphalen – RS, 2020, 105p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Maria campus Frederico Westphalen.

SILVA, I.R.; XAVIER, D.M.; CESAR-VAZ, M.R. Os impactos relacionados ao uso de agrotóxicos na saúde dos trabalhadores rurais: uma revisão sistemática. **Rev. Eletrônica Mestr. Educ. Ambient**, v.26, n.3, p.160-177, 2019.

SILVA, S.R.C.M.D. **Efeito dos inseticidas organofosforados em latossolo vermelho escuro de Campo Novo do Parecis–MT e a Degradação dos organofosforados por processo oxidativo avançado.** Rio de Janeiro, 2008, 134p. Tese (Doutorado em Geoquímica Ambiental) – Universidade Federal Fluminense.

SIMÕES, M.; MANCUSO, M.A.; JORGE, C.; MARTINEZ, J.L.; PELICA, J. F.; PESSOA, M. F.; REBOREDO, F. H. Acumulação de metais pesados e alteração das propriedades físicas e químicas de areias de dunas litorâneas. **Geociências (UNESP. Impresso)**. v.37, p.543-553, 2018.

SOARES, D.F.; FARIA, A.M.; ROSA, A.H. Análise de risco de contaminação de águas subterrâneas por resíduos de agrotóxicos no município de Campo Novo do Parecis (MT), Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v.22, n.2, p.277-284, 2017.

SOUZA, M.A. **Risco de Contaminação da Água por Glifosato: Validação do modelo A.R.C.A. em uma lavoura de soja no entorno do Distrito Federal**. Brasília, 2014, 140 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade de Brasília.

SPADOTTO, C.A. Screening method for assessing pesticide leaching potential. *Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente*, v.12, p.69-78, 2002.

SPADOTTO, C.A.; GOMES, M.A.; HORNSBY, A G. Pesticide leaching potential assessment in multilayered soils. *Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente*, v.12, 2002.

STEFFEN, G.P.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, 2011.

TODESCHINI, B.H. **Avaliação da presença de agrotóxicos por cromatografia líquida acoplada à Espectrometria de massas em águas superficiais e na rede pública de abastecimento de água no Rio Grande do Sul**. Florianópolis - SC, 2013, 122p. Dissertação (Mestrado em Perícias Criminais Ambientais) – Universidade Federal de Santa Catarina.

TODESCHINI, B.H.; FEUERHARMEL, M. R. Sistema Nacional de Criminalística do Departamento de Polícia Federal. **Laudo 305**. UTEC/DPF/SMA/RS, 22.09.2010.

VILLALOBOS, J.U.G.; FAZOLLI, S.A. **Agrotóxico: um enfoque multidisciplinar**. Editora UEM. 214 p. 2017.

WELTER, T. P. **Determinação multirresíduos de agrotóxicos em águas de poços de captação utilizados para o consumo humano na zona rural de Cerro Largo (RS)**. Monografia. Universidade Federal da Fronteira Sul – campus Cerro Largo, 2018.

## 4 CAPÍTULO 2

### Uso de Agrotóxicos e o Panorama das Intoxicações Exógenas no Noroeste do Rio Grande do Sul

Pesticide Use and the Exogenous Intoxications Panorama in the Northeast of Rio Grande Do Sul

#### Resumo

Esta pesquisa apresenta um estudo sobre intoxicações exógenas com possível relação ao uso de agrotóxicos em 20 municípios do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul que compõem a 2ª Coordenadoria Regional da Saúde, com população que varia entre 2.277 a 28.843 mil habitantes. Para a pesquisa, foram apresentadas características dos municípios e dados sobre os agrotóxicos presentes na plataforma do Sistema Integrado de Gestão de Agrotóxico (2018) juntamente com um banco de dados formado por: intoxicações exógenas da plataforma DataSUS (2009-2018), Censo Agro, Censo e Produção Agrícola Municipal (IBGE). Foi realizado um estudo epidemiológico do tipo observacional descritivo, seguido de um estudo ecológico, sendo calculados também coeficientes de correlação linear de Pearson entre variáveis e gerados gráficos utilizando pacotes do software R. O total de intoxicações exógenas registradas no período de dez anos foi de 341, em 20 municípios, sendo que 175 foram provenientes de agrotóxicos e produtos químicos e os demais registros (166) correspondem a intoxicações ocasionadas por medicamentos, plantas tóxicas, informações não preenchidas e outros. A incidência foi maior nos municípios de Tenente Portela, Alpestre e Novo Tiradentes. A classe de agrotóxicos mais utilizadas envolvendo intoxicações são herbicidas, inseticidas e fungicidas. Quando relacionadas à exposição ao trabalho, 242 intoxicações ocorreram nesse ambiente, o tipo de exposição predominante é aguda-única e de maneira acidental – sendo a mais notificada.

**Palavras-chave:** Contaminações; Epidemiologia; Geotecnologias

#### Abstract

This research presents a study on exogenous intoxications with possible relation to the use of pesticides in municipalities in the Northwest of the State of Rio Grande do Sul, which makes up the 2nd Regional Health Coordination. For the research, characteristics of the municipalities and data on the pesticides present on the platform of the Integrated Pesticide Management System (2018) together with a database formed by: exogenous intoxications from the DataSUS platform (2009-2018), Agro Census, Census and Municipal Agricultural Production (IBGE) were used. An epidemiological, descriptive observational study was carried out, followed by

an ecological study, and Pearson's linear correlation coefficients between variables were also calculated and graphs were generated using R software packages. The total number of exogenous intoxications recorded in the ten-year period was 341 in 20 municipalities, 175 of which came from pesticides and chemicals and the remaining records (166) correspond to intoxications caused by drugs, toxic plants, unfilled information and others. The highest incidence was in Tenente Portela, Alpestre and Novo Tiradentes. The most used pesticides related to intoxications are the herbicides, insecticides and fungicides. Related to work exposure are 242 intoxications, being mostly reported the type acute - unique and accidentally.

**Keyword:** Contaminations; Epidemiology; Geotechnologies

## 1 Introdução

O agronegócio no Brasil é enfatizado como uma das maiores fontes geradoras de riqueza, devido à alta produção agropecuária em seu território (IBGE 2019). O país está em constante expansão agrícola com predomínio de lavouras de Soja, Milho e Trigo (Embrapa Soja 2020).

Nos últimos 30 anos, o Brasil registrou o consumo de 540.000 toneladas de agrotóxicos por ano entre os quais 370 mil toneladas foram consideradas produtos altamente tóxicos (Lara et al. 2019; Public Eye, 2019). Para classificar a toxicidade desses produtos a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, 2019) através do Sistema de Classificação Globalmente Unificado (Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals- GHS), possui cinco categorias que expressam o grau de toxicidade, Figura 1.

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

**Figura 1 Classificação da toxicidade conforme ANVISA (2019).**

Desse total, o Estado do Rio Grande do Sul foi responsável por consumir cerca de 75 toneladas de ingredientes ativos no ano de 2019, entre os quais 71,7% eram agrotóxicos de

Classe III, 26,9% de Classe II, 1,07% de Classe I e 0,3% de Classe IV (IBAMA 2019). Ainda, em 2020 foram liberados para aplicação em lavouras 493 agrotóxicos, entre os quais 97,4% (480) são genéricos e 2,6% (13) inéditos, sendo este o maior número autorizado desde os anos 2000 (BRASIL 2021).

O uso indiscriminado de uma ampla variedade de agrotóxicos irregulares (contrabandeados ou falsificados) e regulares que estão atualmente disponíveis no mercado, associado à múltipla exposição pode ocasionar, principalmente em agricultores, intoxicações como: câncer, lesões renais, distúrbios endócrinos, dentre outros (Lara et al. 2019). Dependendo da forma, tempo de exposição e do tipo de produto, essas intoxicações podem ocorrer em três tipos: aguda, subaguda e crônica, que pode aparecer a longo prazo (Faria, Fassa & Facchini 2007). Entretanto, o problema é agravado pelo uso de agrotóxicos irregulares, que representaram um aumento de 38% no contrabando em 2019, em relação ao ano anterior no Estado do Rio Grande do Sul (Marcovici 2019).

Segundo Aguiar et al. (2019), quando os produtos químicos são agregados a outros produtos tais como alimentos modificados geneticamente, metais pesados ingeridos em alimentos ou na água, poluição do ar entre outros, podem resultar em consequências não previstas ou ainda não pesquisadas. Além disso, há o problema da exposição ocupacional aos agrotóxicos, uma vez que pela demora na manifestação dos sintomas pode gerar outro diagnóstico, acarretando uma subnotificação de intoxicações.

As intoxicações exógenas passíveis de registro dentro do sistema DataSUS, consistem no aparecimento de sintomas decorrentes da exposição a substâncias químicas que vão desde um medicamento, até um produto químico aplicado no solo.

Considerando o aumento do uso de agrotóxicos em municípios da Região Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (Santos et al. 2021) que chega a consumir três vezes mais agrotóxicos que os demais municípios do Estado (Sperb 2016), este estudo tem por objetivo avaliar o número de intoxicações exógenas registradas pelo Sistema Único de Saúde que foram desencadeadas por agente tóxico, classe do agrotóxico, exposição no trabalho, tipo de exposição e contaminação, e registradas na região noroeste do Rio Grande do Sul, uma das principais zonas agrícolas do estado.

## **2 Área de Estudo**

A área selecionada para a realização deste estudo inclui municípios da região noroeste do Rio Grande do Sul com predomínio de agricultura familiar, desenvolvida em minifúndios que possuem em média 15,48 hectares por propriedade (Wesendonck et al. 2017). Nesses

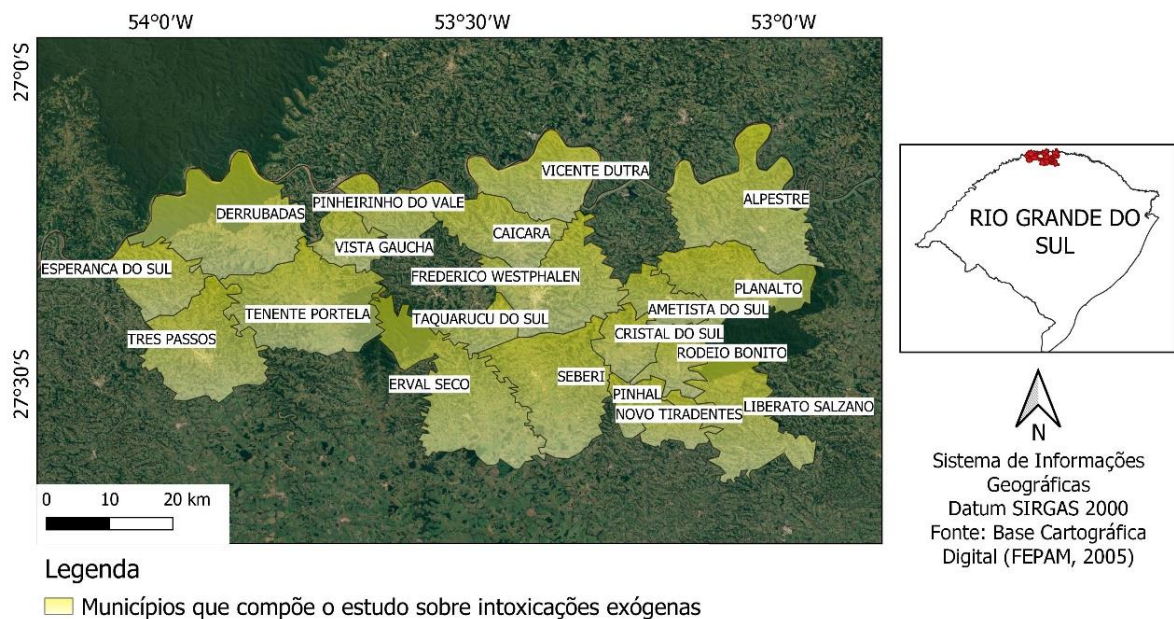


municípios estão localizadas grandes áreas florestais que se dividem em Unidade de Conservação, Parques Municipais e Área de Proteção Permanente (Rio Grande do Sul 2010).

O predomínio de agricultura familiar possibilita não somente a subsistência com diversidade de produtos, mas também, a mercantilização da produção, voltada para *commodities* agrícolas e para a integração agroindustrial. A inserção de máquinas agrícolas por meio do crédito rural, permitiu a utilização de mais agrotóxicos em pequenas áreas rurais, aumentando a produção e diminuindo o tempo de trabalho. Isso é reflexo do modelo de desenvolvimento técnico produtivo da região, não sendo eficientes as políticas locais de incentivo à agricultura familiar de subsistência e diversidade de produtos (Gazolla 2004).

Em relação a produtividade do milho, feijão, trigo e arroz, para a safra 2020/2021 no Estado do Rio Grande do Sul há expectativa da segunda maior safra do Estado nos últimos 5 anos. Os chamados “grãos de verão” podem impactar positivamente os agricultores com a produtividade em torno de 7,8 ton/ha de milho; 1,7 ton/ha de feijão; 36,2 ton/ha de milho silagem, contudo, o arroz ficará em 7,8 ton/ha registrando uma baixa de 3,9% em relação à safra de 2019/2020 (Emater/RS-Ascar 2020). Na região Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, de acordo com a Federação da Agricultura do Rio Grande do Sul (Farsul 2021), devido à falta de precipitação estima-se que somente três milhões de toneladas de milho sejam colhidas, 28% menos em relação à safra anterior.

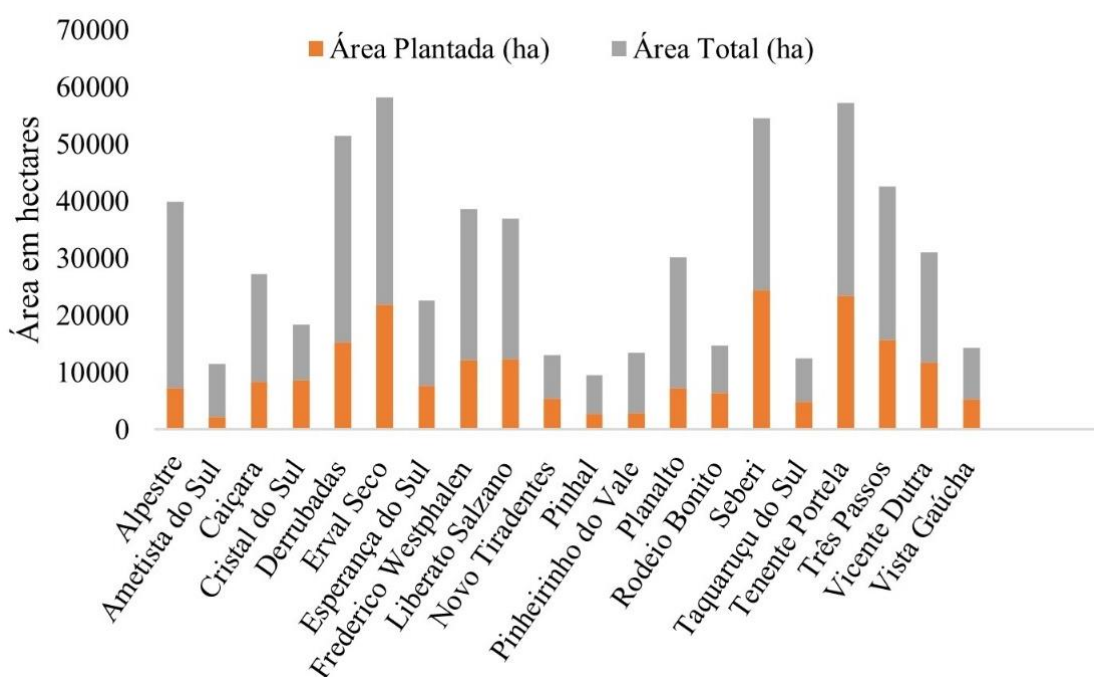
Neste estudo, a análise das intoxicações exógenas por diversos agentes tóxicos foi concentrada em 20 municípios da área de abrangência da 2ª Coordenadoria Regional da Saúde (2ª CRS) do Rio Grande do Sul, sendo esses: Alpestre, Ametista do Sul, Caiçara, Cristal do Sul, Derrubadas, Erval Seco, Esperança do Sul, Frederico Westphalen, Liberado Salzano, Novo Tiradentes, Pinhal, Pinheirinho do Vale, Planalto, Rodeio Bonito, Seberi, Taquaruçu do Sul, Tenente Portela, Três Passos, Vicente Dutra e Vista Gaúcha (Figura 2).



**Figura 2 Municípios da Região do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul com predomínio de agricultura familiar e que compõem este estudo sobre intoxicações exógenas.**

As atividades agrícolas na região do Noroeste do Rio Grande do Sul se desenvolvem numa paisagem com relevo ondulado a fortemente ondulado, banhada pelos afluentes do rio Uruguai, que são alimentados por distintas nascentes. Esses recursos hídricos são utilizados para o abastecimento público, rural e o desenvolvimento das atividades agropecuárias. Além do abastecimento por fonte superficial, na região também se utilizam poços que captam águas subterrâneas do Sistema Aquífero Serra Geral, localizado em zona de basaltos fraturados e caracterizado pela existência de um aquífero freático local, que se forma na zona de intemperismo e que permite a exploração por meio de poços cacimbas (escavados com diâmetro de 1 m aproximadamente) (Formentini, Mancuso & Albuquerque Filho 2016; Mancuso & Santos 2021; Oderich & Andrade 2017; Santos, Medeiros & Mancuso 2020).

Os municípios com maior área plantada são Seberi, Tenente Portela e Erval Seco, com 24.485 ha (81% da área total do município), 23.438 ha (69% da área total do município) e 21.857 ha (60% da área total do município) respectivamente. Contudo, as maiores relações entre área plantada e área total do município (maior ocupação agrícola) foram constatadas nos municípios de Cristal do Sul (89%), Seberi (81%) e Rodeio Bonito (77%), conforme dados do IBGE (2018), Figura 3.



**Figura 3 Relação entre área plantada (ha) e área total (ha) de municípios da região Noroeste do Rio Grande do Sul (IBGE, 2018).**

Conforme Santos et al. (2021), os dez agrotóxicos mais utilizados na região em 2018 foram: glifosato, dicloreto de paraquate, atrazina, mancozebe, 2,4-D, acefato, trifloxistrobina, imidaclorprido, simazina e protioconazol. Nessas áreas, as culturas predominantes são: amendoim, batata-doce, cana-de-açúcar, feijão, fumo, laranja, mandioca, melancia, milho, pastagens, soja, sorgo, trigo e uva (Rio Grande do Sul, 2019; IBGE 2018).

A pesquisa de Santos et al. (2021) indica a fragilidade do meio frente ao uso de agrotóxicos indicando que, nos municípios da área de estudo, os principais agrotóxicos utilizados podem ficar adsorvidos ao solo e são passíveis de serem transportados para corpos hídricos superficiais (imidaclorprido, protioconazol, dicloreto de paraquate, acefato, glifosato, trifloxistrobina e mancozebe) e/ou serem transportados para as águas subterrâneas (atrazina, imidaclorprido, mancozebe, 2,4-D e simazina).

O uso desses agrotóxicos também representa um risco à saúde humana e, conforme a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA 2019), eles são classificados como: Extremamente tóxicos (grau I), dicloreto de paraquate e 2,4-D; Altamente tóxico (grau II), a trifloxistrobina; Moderadamente tóxicos (grau III), a atrazina, mancozebe e acefato; e Pouco tóxicos (grau IV), o glifosato e o protioconazol.

### 3 Metodologia

As informações sobre intoxicações exógenas por municípios da área de estudo foram extraídas da plataforma TabNet, registradas no Sistema de Informação de Agravos de

Notificação - SinanNet (DataSUS 2020), referentes ao período de 2009 a 2018. Na grande área de Intoxicações Exógenas as variáveis selecionadas foram: (i) Classificação Final (se houve de fato intoxicação), (ii) Agente Tóxico (agrotóxico ou outras fontes) (iii) Classe do Agrotóxico, (iv) Exposição no Trabalho, (v) Tipo de Exposição (acidental, trabalhista, outras) e (vi) Contaminação (referente a como ocorre a intoxicação). Tais variáveis estão incorporadas na discussão ao longo dos resultados.

Para análise das intoxicações exógenas por município, foi criado um banco de dados com diversas fontes (DataSUS 2020; IBGE 2019; IBGE 2010), que relacionaram características do ambiente com as características de intoxicações exógenas. As características sociais que constituíram o banco de dados foram: estabelecimentos rurais, atividade econômica, uso de terras, agricultura familiar e assistência técnica (IBGE 2019); e informações sobre a população rural (IBGE 2017) e urbana dos municípios (IBGE 2010).

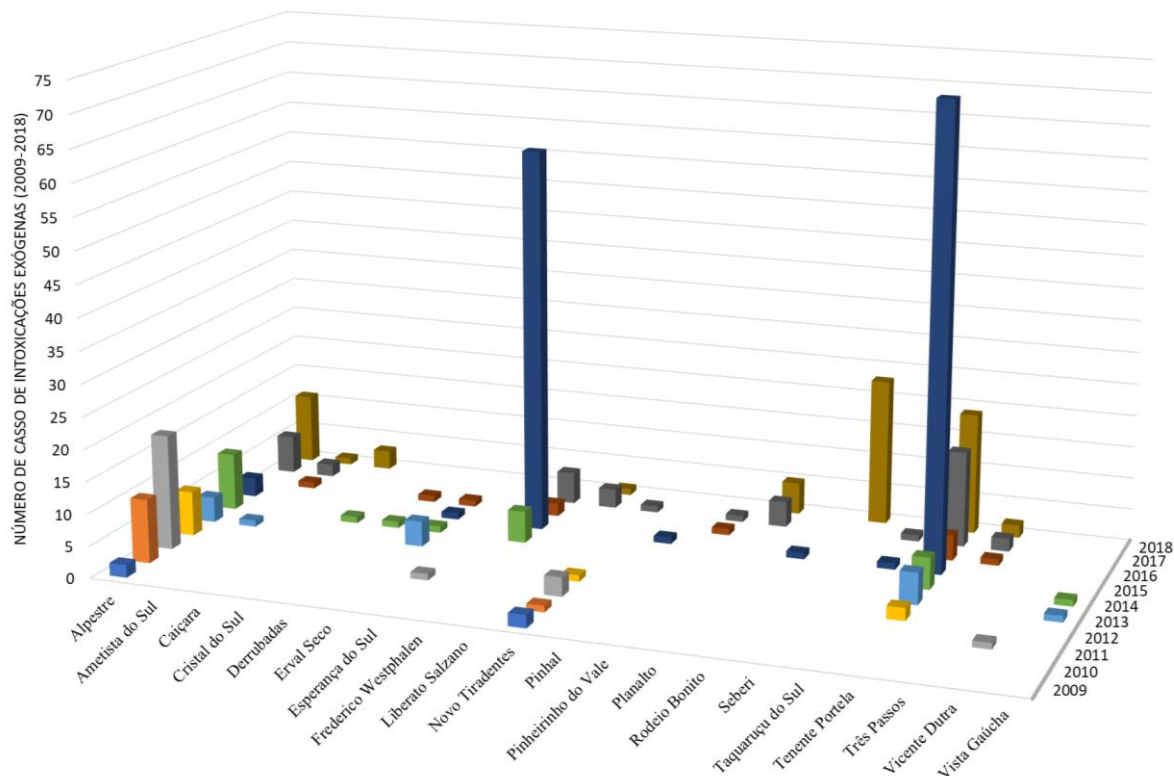
Nesse banco de dados foi realizado um estudo com classificação epidemiológica do tipo observacional descritivo seguido de um estudo ecológico. Com os dados quantitativos, foram calculados coeficientes de correlação linear de Pearson entre variáveis e gerados gráficos utilizando o pacote GGPlot2 do software R (R Core Team, 2021). Os resultados de correlação foram comparados em faixas de classificação sendo: muito alta  $|r| > 0,9$  altas  $|r$  entre 0,7 e 0,9, baixa a moderada  $|r$  entre 0,3 e 0,7 e negligenciáveis  $|r$  entre 0 e 0,3, conforme Hinkle, Wiersma & Jurs (2003).

#### **4 Resultados e Discussão**

No período de 10 anos (entre 2009-2018), em 20 municípios da região Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul houve o registro de 341 intoxicações exógenas. Os indivíduos que tiveram somente exposição correspondem à 59% (198 notificações), para intoxicação confirmada são 32% dos dados (108 notificações), 3% (8 notificações) são referentes a reação adversa ou outro diagnóstico e 6% (20 notificações) não possuem informação para essa variável. Contudo, somente a exposição já é suficiente para causar alterações celulares e, consequentemente, pode estar associada a doenças neurológicas e alguns tipos de câncer, como neoplasia no cérebro, linfoma não-Hodgkin, melanoma cutâneo, câncer no sistema digestivo, sistemas genitais masculino e feminino, sistema urinário, sistema respiratório, câncer de mama e câncer de esôfago (Caldas 2016; Lopes & Albuquerque 2018).

Em relação ao agente tóxico, as intoxicações que envolvem agrotóxicos e produtos químicos correspondem a 51% do total (175 notificações), sendo 12% (41 notificações) relacionadas à medicamentosos, 10% (34 notificações) são informações em branco, 4% (11

notificações) intoxicações por planta tóxica e 23% (80 notificações) correspondem a outros tipos. O ano que mais teve notificações quanto às intoxicações exógenas foi o de 2015 (139 intoxicações), seguido de 2018 (65 intoxicações) e 2017 (40 intoxicações) (Figura 4).



**Figura 4 Evolução do número de intoxicações exógenas no período de 2009-2018 em municípios do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul.**

Quanto aos casos notificados durante o período de 10 anos (2009-2018), considerando a população do ano de 2018 para cálculo, os municípios de Tenente Portela, Alpestre e Novo Tiradentes tiveram maior incidência, com 11 casos para cada 1.000 habitantes em Alpestre, 9 casos para cada 1.000 habitantes em Tenente Portela e 4 casos para cada 1.000 habitantes em Novo Tiradentes. Enquanto outros sete municípios (Tabela 1), apresentaram incidência inferior a 0,5 casos/1.000 habitantes, sendo considerada equivalente a 0 neste estudo.

Os municípios predominantemente agrícolas apresentaram a relação entre a população de 2009 para 2018, de alta emigração onde, somente cinco municípios (Frederico Westphalen, Pinhal, Pinheirinho do Vale, Taquaruçu do Sul e Três Passos) tiveram aumento populacional no período estudado de até 9%, sendo os demais com queda de até 38% da população, uma emigração mais crítica para o município de Alpestre.

Municípios	Percentual de Aumento/Redução da população de 2018 em relação à 2009	Número de intoxicações (10 anos)	População Total (habitantes em 2018)	Incidência por mil habitantes
Alpestre	-38%	70	6.458	11
Ametista do Sul	-15%	5	7.416	1
Caiçara	-9%	3	4.788	1
Cristal do Sul	-9%	1	2.851	0
Derrubadas	-19%	2	2.852	1
Erval Seco	-16%	7	7.040	1
Esperança do Sul	-17%	1	2.969	0
Frederico Westphalen	9%	72	31.120	2
Liberato Salzano	-17%	4	5.289	1
Novo Tiradentes	-7%	8	2.223	4
Pinhal	7%	1	2.577	0
Pinheirinho do Vale	4%	2	4.842	0
Planalto	-6%	9	10.152	1
Rodeio Bonito	-0,2%	1	5.867	0
Seberi	-3%	23	10.788	2
Taquaruçu do Sul	5%	2	3.068	1
Tenente Portela	-5%	122	13.538	9
Três Passos	0,2%	5	23.963	0
Vicente Dutra	-18%	1	4.745	0
Vista Gaúcha	2%	2	2.847	1

**Tabela 1 Informações sobre aumento/redução da população e cálculo da incidência de intoxicações para os municípios em estudo na região Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul em uma análise de 10 anos (DataSUS 2020; IBGE 2021).**

O maior número de intoxicações é por agrotóxico e produtos químicos. Tal classificação está inserida na expansão do agronegócio e alguns autores sugerem que há silêncio quanto às notificações devido à política de priorizar a economia em favor do crescimento de produção e ganho de capital (Carneiro et al. 2015; Nasralla, Lacaz & Pignati 2014). Conforme Santos et al. (2021), municípios localizados no Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, apresentam intensa atividade agrícola em lavouras, pecuária e lavouras temporárias, desenvolvida majoritariamente por agricultura familiar (73%) e por demais produtores (27%) (Tabela 2).

Municípios	Zona de Exposição de Intoxicação				Censo IBGE 2010			A.E (%)		U.T s (%)	Est (N)	A.T (%)	A.F (%)
	A	B	C	Total	Popu- lação Total	B	C	D	E				
Alpestre	35	0	35	70	8027	2211	5816	62	23	33	1417	39	91
Ametista do Sul	1	3	1	5	7323	3811	3512	57	29	32	645	31	89

Caiçara	0	1	2	3	5580	1594	3986	69	29	43	936	42	93
Cristal do Sul	1	0	0	1	2826	931	1895	68	30	64	449	2	33
Derrubadas	0	1	1	2	3190	901	2289	58	39	62	542	60	87
Erval Seco	2	1	4	7	7878	2741	5137	67	30	52	1219	41	89
Esperança do Sul	0	0	1	1	3272	717	2555	62	37	56	558	34	92
Frederico Westphalen	1	68	3	72	28843	22962	5881	52	41	48	995	47	89
Liberato Salzano	1	0	3	4	5780	1148	4632	64	21	46	1178	70	90
Novo Tiradentes	3	1	4	8	2277	654	1623	72	26	73	365	63	90
Pinhal	0	1	0	1	2513	1290	1223	59	40	47	440	93	85
Pinheirinho do Vale	0	0	2	2	4497	915	3582	54	43	46	680	50	85
Planalto	0	3	6	9	10524	5581	4943	42	29	47	1080	37	89
Rodeio Bonito	0	0	1	1	5743	4103	1640	59	36	55	515	67	88
Seberi	2	0	21	23	10897	5814	5083	64	34	62	1160	32	84
Taquaruçu do Sul	0	1	1	2	2966	1164	1802	51	47	52	416	69	88
Tenente Portela	12	77	33	122	13719	8648	5071	61	36	61	876	59	89
Três Passos	2	1	2	5	23965	16715	7250	53	44	53	1285	48	90
Vicente Dutra	1	0	0	1	5285	1976	3309	84	15	45	798	29	96
Vista Gaúcha	1	0	1	2	2759	814	1945	43	56	50	391	94	90

A.E - Atividade Econômica; U.T - Uso de Terras; A.T - Assistência Técnica; A.F - Agricultura Familiar; Est (N) - Número de Estabelecimentos

A - Ignorado/Branco; B - Urbana; C - Rural; D - Lavoura Temporária; E - Pecuária; F - Lavoura

**Tabela 2 Informações sobre os municípios do Noroeste do Rio Grande do Sul parte da 2ª Coordenadoria Regional de Saúde quanto à intoxicações, população, atividade econômica, uso de terras, assistência técnica, número de estabelecimentos rurais e agricultura familiar.**

Fonte: Zona de Exposição de Intoxicações (DataSUS 2020), Censo Demográfico (IBGE 2010) e Censo Agropecuário (IBGE 2017).

Quanto à classe do agrotóxico e produto químico utilizado no momento da intoxicação, de 282 intoxicações (83%) de 341 casos registrados, a informação é ignorada ou inexistente (em branco). É possível que ocorra correspondência de intoxicações por agrotóxicos e produtos químicos relacionadas a 175 registros. Considerando o total de intoxicações: 10% (35 intoxicações) ocorreram por herbicidas, 4% (14 intoxicações) por inseticidas, 2% (7 intoxicações) por fungicida e 1% (3 intoxicações) por outros.

A classe dos herbicidas com maiores intoxicações contempla glifosato, 2,4-D, simazina e atrazina, que estão entre os mais utilizados em municípios do noroeste do Rio Grande do Sul (Santos et al. 2021). Essa classe também foi a classe de agrotóxicos mais utilizados no Oeste do Paraná na pesquisa realizada por Frizon et al. (2020), seguidos de inseticidas e fungicidas. Nesse estudo, os autores também constataram um elevado índice de informações em branco.

Em relação aos inseticidas, nessa classe estão o acefato e o imidacloprido, que são agrotóxicos muito utilizados em municípios do noroeste do Rio Grande do Sul (Santos et al. 2021). Ainda, o inseticida, foi a classe de agrotóxicos com maior notificação de intoxicações

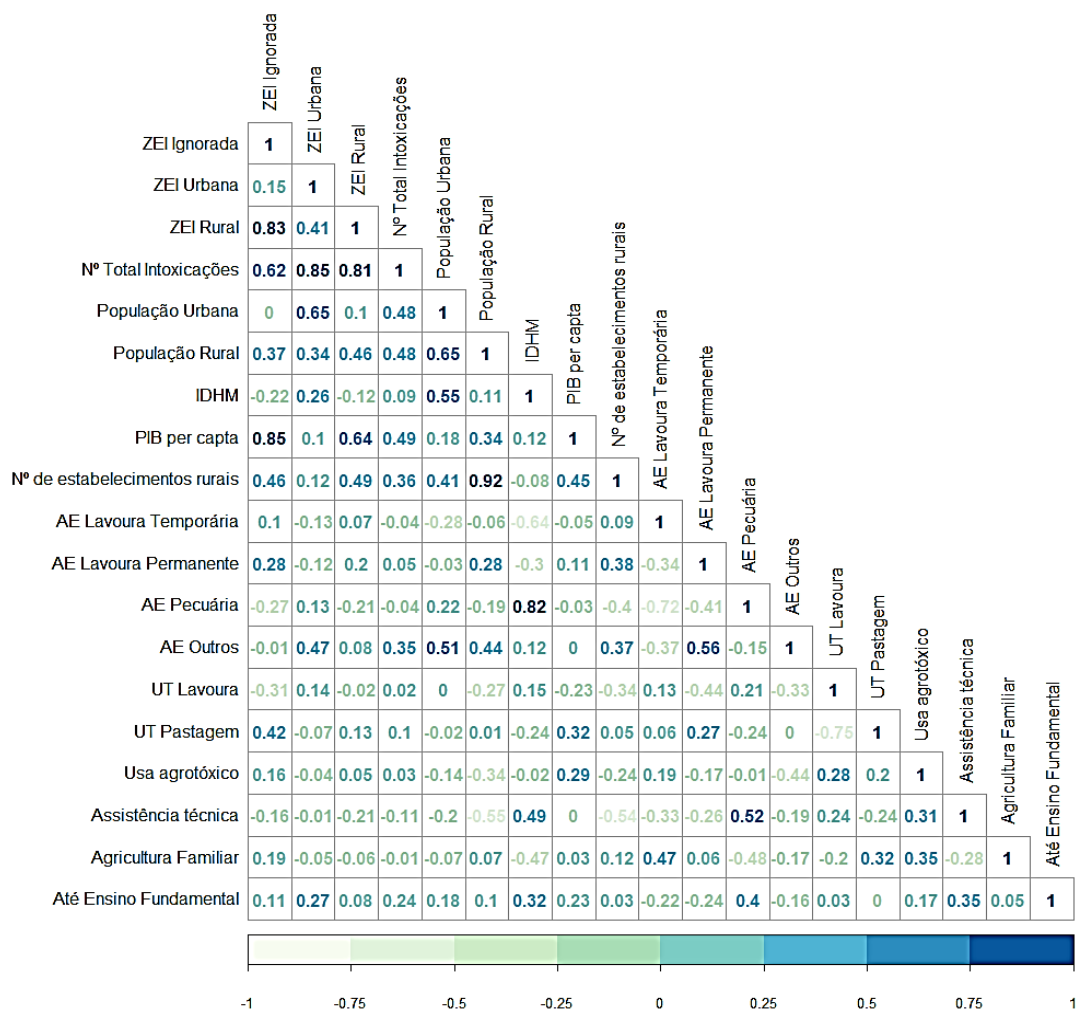
no Paraná entre os anos de 2002 a 2011. O produto é facilmente absorvido pela pele e por ingestão, conforme estudo de Neves & Bellini (2013). Da classe dos fungicidas, os agrotóxicos mais utilizados no noroeste do Rio Grande do Sul em 2018 foram: protioconazol, trifloxistrobina e mancozebe (Santos et al. 2021).

As classes e os agrotóxicos que podem causar transtornos psiquiátricos menores (DPM) são organofosforados, carbamatos e inseticidas inibidores da colinesterase, segundo um estudo realizado no Mato Grosso do Sul e Rio Grande do Sul em agricultores (Caldas 2016). Há certa dificuldade em estabelecer relações de causa e efeito entre o uso de agrotóxicos por um período longo e as doenças crônicas degenerativas, o que é diferente para intoxicações agudas (Neves & Bellini 2013). Estima-se que no Brasil, para cada evento de intoxicação por agrotóxico notificado existam outros 50 não notificados (Portela & Tourinho 2016). Dito isso, há chances de que haja subnotificações de doenças que são desencadeadas pelo uso prolongado de agrotóxicos na área de abrangência da 2ª Coordenadoria Regional de Saúde do RS, quando avaliados os usos desses produtos por municípios e as notificações que constam no sistema.

Não obstante, os dados de Zona de Exposição presentes na Tabela 2, mostram que os municípios de Ametista do Sul, Frederico Westphalen, Tenente Portela e Pinhal, tiveram maior número de intoxicações registrados na área urbana 3, 68, 77 e 1 respectivamente apresentando uma correlação alta ( $r=0,85$ ) com a Zona Urbana conforme Hinkle, Wiersma & Jurs (2003) (Figura 5). Queiroz et al. (2020) e Lima et al. (2008) evidenciam que há facilidade na comercialização de alguns agrotóxicos nocivos à saúde, por isso, estão mais inseridos em ambientes urbanos, causando risco a famílias.

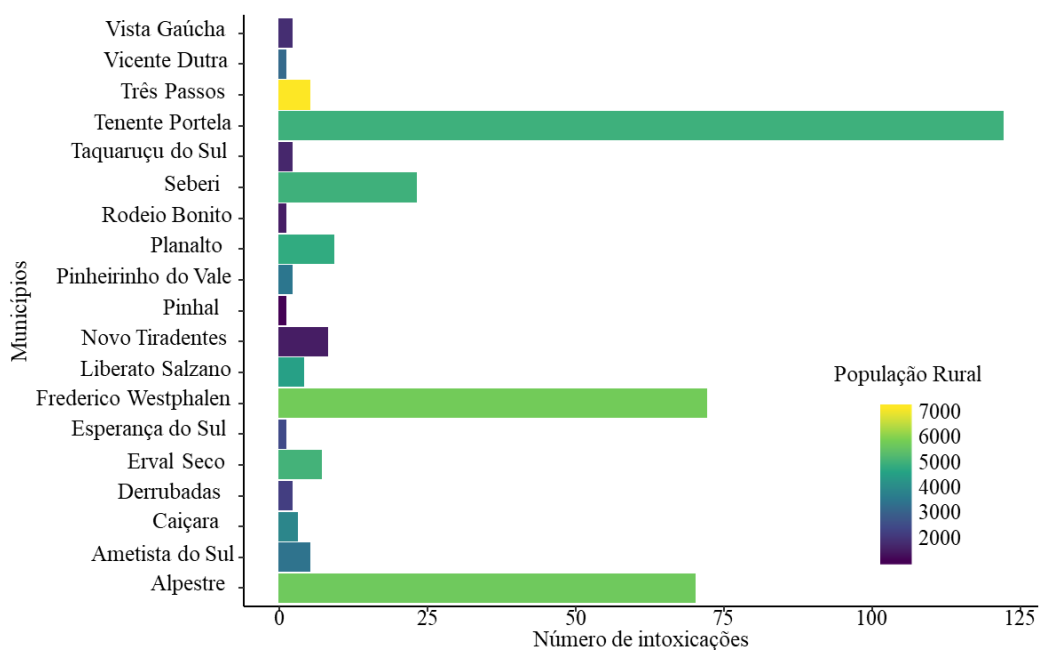
A notificação de intoxicação pode ocorrer tanto em área urbana quanto em área rural, pois atividades trabalhistas que utilizam agrotóxico são desenvolvidas em ambos os locais, considerando a área rural mais provável para que ocorra casos de intoxicações por agrotóxicos. Quanto à exposição no trabalho, 72% (242 intoxicações) aconteceram em ambiente de serviço, 25% (88 intoxicações) não ocorreram em ambiente trabalhista e em 3% dos casos (11 intoxicações) não havia informação. Nesse caso, o intoxicado pode estar em prestação de serviço em área urbana, como: limpeza de terrenos com uso de herbicidas ou nas diversas atividades no campo (zonas rurais), que regularmente utilizam agrotóxicos. Mesmo que haja dados ignorados/branco (Tabela 2 e Figura 5) é possível destacar que estes estão diretamente relacionados ao ambiente rural, com correlação forte e positiva ( $r=0,83$ ) e ao PIB per capita de cada município, com correlação forte e positiva ( $r=0,85$ ), de acordo com Hinkle, Wiersma & Jurs (2003) (Figura 5).





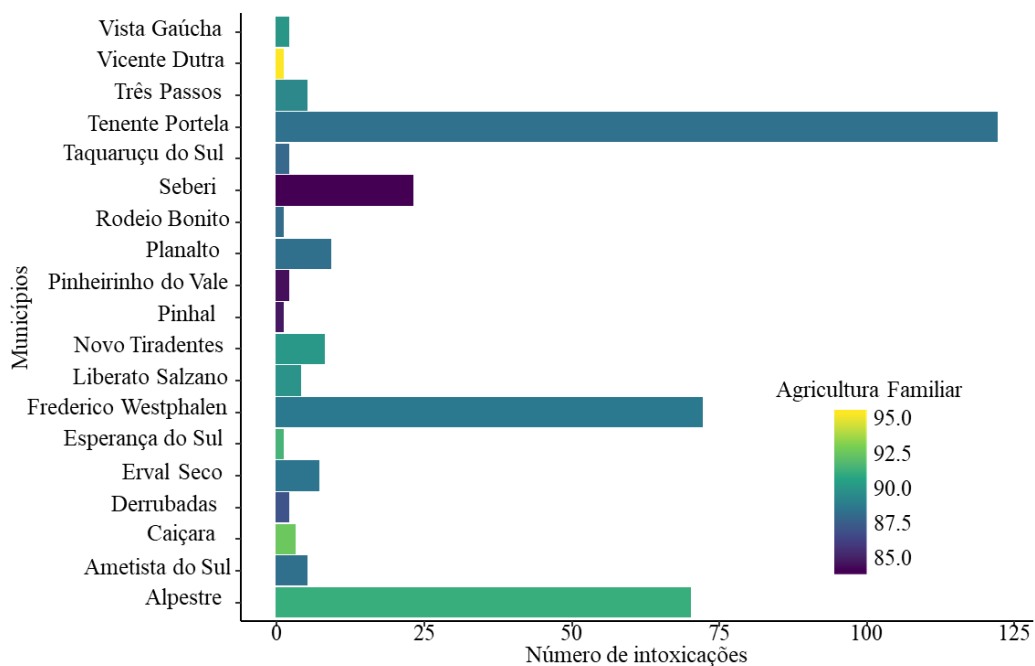
**Figura 6 Matriz de correlação entre as variáveis da Tabela 2, construídas a partir de fonte de dados: DataSUS (2020), IBGE (2010) e IBGE (2017), para os municípios do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Legenda conforme Tabela 2.**

Além disso, dos 20 municípios objeto de estudo 12 (60%) possuem predominantemente população rural e 100% deles têm predomínio de atividades advindas da agricultura familiar (Tabela 2). Portanto, constata-se que a população rural tem uma elevada relação forte e positiva ( $r=0,81$ ) com as notificações de intoxicação, o que se justifica por ser um ambiente que utiliza periodicamente agrotóxicos e demais produtos químicos nos cultivos (Santos, Medeiros & Mancuso 2020), com vista a aumentar a produtividade e, conseqüentemente, a renda. Contudo, a prática na agricultura familiar ocorre em grande parte, sem assistência técnica, causando danos à propriedade e à saúde do trabalhador (Figura 9). A relação entre estabelecimentos e o PIB de cada município indica moderada correlação positiva ( $r=0,64$ ). Observa-se que o município de Alpestre tem números elevados de notificação de intoxicações (70), bem como de população rural, que corresponde à 72,5% (5.816 habitantes) da população total. O agrotóxico mais utilizado no município no ano de 2018 foi o Glifosato (10.569,4 L/ano) (Santos et al. 2021) (Figura 6).



**Figura 6 Relação entre Municípios, Número de Intoxicações e População Rural de municípios localizados na região noroeste do Rio Grande do Sul.**

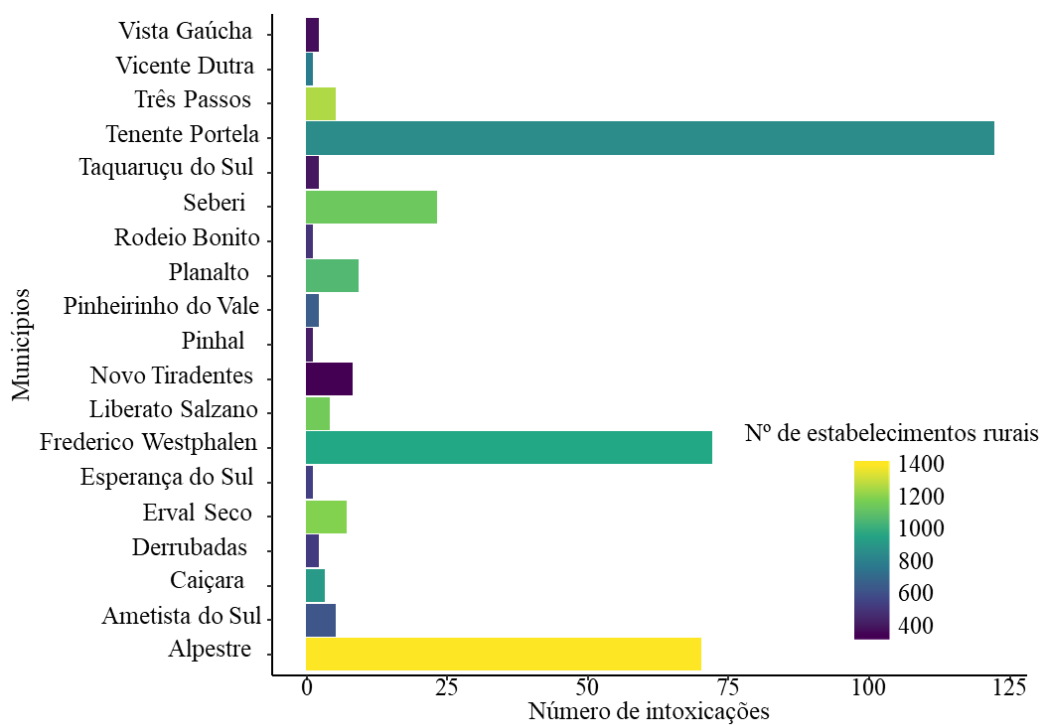
Considerando o número de intoxicações por município, quanto a classe Agricultura Familiar, o maior número de registros foi confirmado no município de Tenente Portela (122 intoxicações), seguido por Frederico Westphalen (72 intoxicações) e Alpestre (70 intoxicações). Esses municípios têm, respectivamente, 89%, 89% e 91% de atividades concentradas em estabelecimentos de agricultura familiar (Figura 7).



**Figura 7 Relação entre Municípios, Número de Intoxicações e Agricultura Familiar (em percentual de toda a agricultura) em municípios localizados na região noroeste do Rio Grande do Sul.**

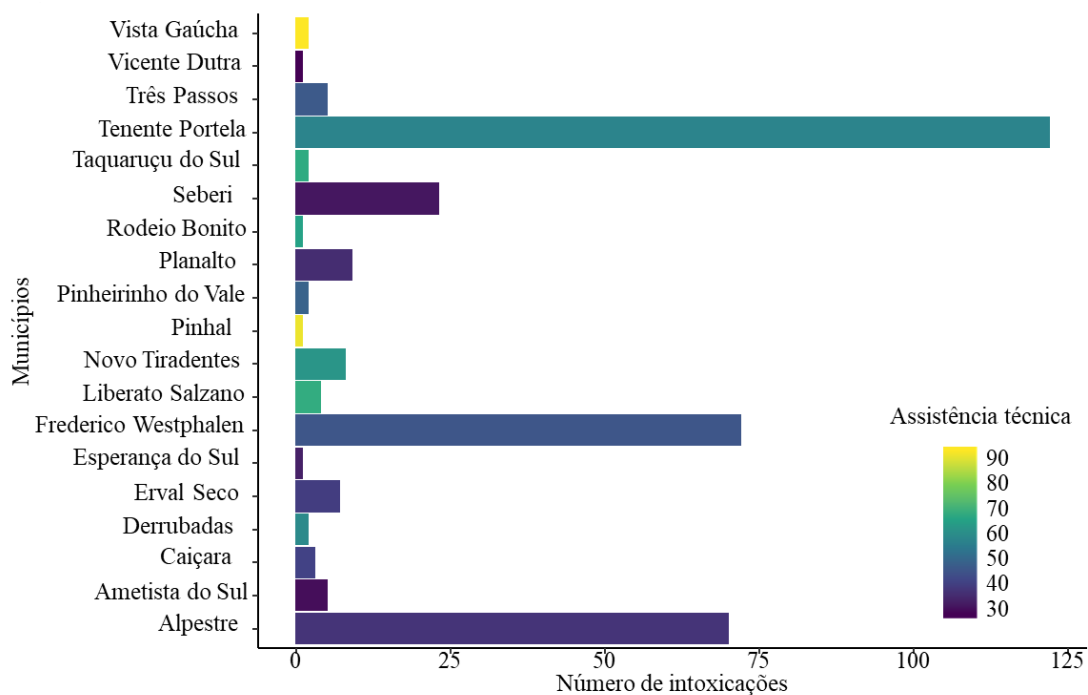
Por outro lado, o cenário de baixas intoxicações em municípios com elevada concentração na classificação de agricultura familiar pode ocorrer devido à atual diversidade de estabelecimentos, como o aumento da atividade leiteira, a fruticultura e outras atividades desenvolvidas em pequena escala (Wesendonck et al. 2017). Esse é o caso dos municípios de Vicente Dutra e Caiçara.

Foi constatado neste estudo que, onde há estabelecimentos agrícolas há potencialidade em ocorrer intoxicações exógenas. O município de Alpestre apresenta alto número de estabelecimentos (1.417), bem como um número considerável de intoxicações exógenas (70 notificações) registradas no período de 10 anos. Frederico Westphalen apresenta elevado índice de intoxicações (72) mas têm menos estabelecimentos rurais (995). A situação é mais acentuada é o caso do município de Tenente Portela, com o menor número de estabelecimentos rurais (876 estabelecimentos) entre os municípios citados, mas com o maior número (122) de intoxicações notificadas (Figura 8). Tenente Portela se destaca pelo maior consumo de agrotóxicos, considerando os dez agrotóxicos mais consumidos em 25 municípios do noroeste do estado, sendo o primeiro no consumo de Dicloreto de Paraquate, o segundo no consumo de Imidacloprido, Simazina e Protiocanazol (Santos et al. 2021).



**Figura 8 Relação entre Município, Número de Intoxicações e Número de Estabelecimentos Rurais em municípios localizados na região noroeste do Rio Grande do Sul.**

Constata-se, também, que os municípios que receberam maior assistência técnica relacionadas ao número de intoxicações exógenas (como no caso de Vista Gaúcha e Pinhal) apresentaram menos registros de intoxicações (Figura 9). O recebimento da assistência técnica depende das ações propostas pela Unidade Regional da EMATER que, no caso dos municípios aqui estudados, corresponde à unidade localizada em Frederico Westphalen – RS.



**Figura 9 Relação entre Município, Número de Intoxicações e Assistência Técnica (em %) de municípios localizados no noroeste do Rio Grande do Sul.**

O crédito rural, incorporado nos anos 70 na região do Médio Alto Uruguai, foi um importante instrumento para desenvolvimento das culturas, contudo, a dificuldade em adquirir crédito era grande para os pequenos agricultores e, conseqüentemente, estes não obtinham assistência técnica necessária, fazendo com que desenvolvessem, em busca do aumento de produtividade, a cultura do uso do agrotóxico (Gazolla 2004). Esse cenário muda em 1980, porém, segundo o autor, a assistência técnica no campo ainda não atingiu 100% dos produtores. Entre os pequenos produtores, é comum o armazenamento de insumos, incluindo os agrotóxicos, em galpões adjacentes às lavouras ou mesmo no interior de seus domicílios (Freitas & Garibotti 2020), o que aumenta a exposição e o risco de intoxicações.

Em 10 anos (2009-2018) foram registrados 85% (287) intoxicações Aguda-única, 9% (31) intoxicações Aguda-repetida, 1% (2) intoxicações Aguda sobre crônica, e em 6% (19) dos casos não houve informação sobre o tipo de intoxicação.

Apesar da maior parte das intoxicações serem notificadas como aguda-única (quando os sintomas aparecem imediatamente após o contato excessivo com o agrotóxico), há grande

preocupação em relação aos casos crônicos, onde a manifestação dos sintomas mais graves não é imediata e o desconforto inicial, ao longo do tempo, pode desencadear outras doenças, classificadas posteriormente como de fontes indefinidas (Freitas & Garibotti 2020). Estudos sobre os efeitos deletérios dos agrotóxicos no corpo humano apontam, a longo prazo, para alterações no sistema imunológico de trabalhadores rurais e até a danos no DNA conforme a exposição (Ramos et al. 2021).

Na área rural dos municípios estudados, 60% dos agricultores tem até o Ensino Fundamental como nível de instrução (IBGE 2017), o que dificulta ou impede, muitas vezes, a correta interpretação dos rótulos dos agrotóxicos comercializados e potencializa o uso incorreto de EPI (Caldas 2016; Cargin, Echer & Silva 2017). Ainda, quando se trata sobre o uso de EPI, em Pelotas – RS a pesquisa revelou que há o uso parcial dos EPI's colocando em risco os aplicadores de agrotóxico (Agostinetti et al. 2000); em São Lourenço do Sul – RS um estudo evidenciou que o número de envenenamento teve relação com distúrbios psiquiátricos (Faria et al. 2014) Os autores ainda destacam que a assistência técnica prestada ao agricultor muitas vezes é só uma, e restrita a ensinar sobre a diluição e aplicação do produto, sem dar a devida importância para a segurança pessoal do trabalhador rural e a ambiental. Decorrente disso, a intoxicação pode ocorrer da forma acidental, que foi a que prevaleceu entre 2009 e 2018, com 58,1% dos casos (198 intoxicações notificadas). Outras causas apontadas para a forma de intoxicação foram: por uso habitual 14,4% dos casos (49 intoxicações); tentativa de suicídio 13,8% dos casos (47 intoxicações); de cunho ambiental 2,3% dos casos (8 intoxicações) e 1,2% dos casos (4 intoxicações) ocorreram por erro de administração. Em menor percentual estão: a tentativa de aborto, casos de violência, automedicação e ingestão de alimento (com 0,6% dos casos cada); e o uso terapêutico e a prescrição médica (com 0,3% dos casos cada). As intoxicações sem registro de causa somam 25 casos (7,3% do total).

A intoxicação que ocorre de forma acidental em áreas agrícolas pode acontecer durante a preparação da calda, diluição e a aplicação do agrotóxico e, também, pelo ingresso e circulação na área de lavoura após a aplicação do produto (Neves & Bellini, 2013). Ainda, os acidentes domésticos com agrotóxicos são a principal causa de atendimentos hospitalares nos casos de crianças menores de 7 anos (Lima et al., 2008).

Um exemplo do grave efeito da ausência de regulamentação do uso de pesticidas ocorreu no Marrocos entre os anos de 2008 a 2014, onde 1.745 crianças de até 14 anos foram intoxicadas em casa por inseticidas (Abidli et al. 2019). Os autores alertam para a necessidade de regulação da compra desses produtos, como um meio para minimizar o problema.

A tentativa de suicídio por diversos motivos (medicamentos, agrotóxicos, raticidas, outros) está registrada entre as três intoxicações mais notificadas entre 2009 e 2018 nos municípios estudados. A questão em pauta é a relação dessa situação do agricultor, pois, segundo Okuyama, Galvão & Silva (2020) dentre os motivos que levam a essa tentativa de suicídio estão os problemas financeiros com a lavoura, fracasso na produtividade e demais motivos que causam o gatilho para tentativa de suicídio.

De acordo com Santos, Legay & Lovisi (2013), as intoxicações exógenas envolvendo agrotóxicos chegam a representar 90% de todas as intoxicações nos países em desenvolvimento. Também se destacam as intoxicações associadas à atividade agrícola, como é o caso dos fumicultores do interior do RS, que relatam que sofrem da doença da folha verde do tabaco, que é proveniente da nicotina pois, no processo da colheita, a folha molhada atinge a pele causando náuseas, dores de cabeça e demais sintomas relacionados à nicotina (Homerding 2015; Riquinho & Henningto 2014). Os autores também relatam que a lavagem das vestimentas após a aplicação de agrotóxicos, o manejo da diluição dos agrotóxicos e a falta do uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPI) podem desencadear outras formas de intoxicação, por vezes notificadas como forma acidental.

Os EPI's colaboram diretamente com a proteção da saúde do trabalhador que aplica o agrotóxico (Homerding 2015), entretanto, um estudo realizado no Sri Lanka revela que, apesar de ter conhecimento sobre quais EPI's utilizar e a importância deles, a maioria dos aplicadores não os utiliza, relatando desconforto e o alto custo dos equipamentos.

No Noroeste do Rio Grande do Sul o estudo de Frank et al. (2018) revela que dos 70 agricultores entrevistados no município de Santa Rosa – RS apenas 29 (41,4%) agricultores informaram usar EPI em algum momento durante o preparo do produto, tal atitude reflete na ação do potencial de intoxicação causado pelo manejo e aplicação do agrotóxico (Barroso & Wolf 2009).

O acesso à informação de fontes alternativas de adubação e controle fitossanitário, potencializa o não-uso de agrotóxicos diminuindo a necessidade sobre alguns EPI's (Sivayoganathan et al. 1995; Van der Hoek et al. 1998). No entanto, estudos indicam que, mesmo diante da adoção do uso de EPI e práticas corretas de higiene após o uso de agrotóxicos (Kashyap et al. 1984), há registros de intoxicação humana (Mission 2006; Thanal 2001).

Mesmo com o uso de EPIs o risco de intoxicação em ambiente de serviço rural é crescente pois, de acordo com Schmidt & Godinho (2006), o modelo de agronegócio imposto

envolve o aumento da mecanização das lavouras e a implementação de técnicas que visam a maior produtividade com o maior uso desses produtos.

## **5 Conclusão**

Em 20 municípios localizados na região Noroeste do Rio Grande do Sul foram contabilizados 15.945 estabelecimentos rurais que praticam atividades agrícolas como o cultivo de *commodities* e outros cultivos para a subsistência. No período de dez anos (entre 2009 e 2018) foram registradas 341 intoxicações exógenas de diversas fontes, entre as quais 58,1% ocorreram de forma acidental e 51% foram ocasionadas por agrotóxicos e produtos químicos. Do total de intoxicações exógenas por agrotóxicos predominam as causadas por herbicidas (10%) e, em menor proporção, as ocasionadas por inseticidas (4%) e fungicidas (2%) entre outros (1%). Constata-se um elevado número de dados incompletos no sistema TabNET (DataSUS 2020) (83% sem informação).

Os municípios que mais apresentaram intoxicações exógenas para o período estudado foram Tenente Portela, Frederico Westphalen e Alpestre, tais municípios têm predominantemente atividades regidas pela agricultura familiar. As correlações mostraram que tanto em ambiente rural quanto ambiente urbano, ocorre as intoxicações e os dados ignorados/em branco no geral, estão correlacionados a informações da área rural.

Em síntese, é essencial que estudos na área sejam aprofundados, bem como, que o poder público vise a capacitação de profissionais para que sejam desenvolvidas ações integradas de saúde e proteção ao meio ambiente.

Em esfera regional, uma vez que a 2ª Coordenadoria Regional da Saúde está em 3º lugar no ranking das dez regiões que mais utilizam agrotóxicos no Estado. Este trabalho evidencia que a exposição a agentes tóxicos, em especial ao agrotóxico e seu uso sem assistência técnica pode ocasionar impactos negativos à população refletidos no atendimento e custos para a Saúde Pública, bem como, no Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) de cada município, constatado através da correlação moderada com a assistência técnica ( $r=0,49$ ).

## **6 Agradecimento**

Agradecemos ao Programa de Demanda Social da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Universidade Federal de Santa Maria campus Frederico Westphalen.

## **7 Referências**

Abidli, Z., Jadda, S., Detsouli, A., Amiar, L., Soulaymani, A., Fekhaoui, M., Mokhtari, A. & Soulaymani-Bencheikh, R. 2019, 'Perfil epidemiológico da intoxicação por pesticidas em

- crianças no Marrocos’, *Rev. Toxicologia Analítica e Clínica*, vol. 31, no.2, pp. S58-S59.  
<https://doi.org/10.1016/j.toxac.2019.03.086>
- Agostinetto, D., Puchalski, L.E.A., Azevedo, R., Storch, G., Bezerra, A.J.A. & Grützmacher, A.D. 2000, ‘Caracterização da fumicultura no município de Pelotas-RS’, *Rev Bras Agrociência*. vol. 6, pp. 171-175. <https://doi.org/10.18539/cast.v6i2.321>
- Aguiar, A.F., Lopes, A.S., Oliveira Filho, A.A. & Godinho, A.M.M. 2019, ‘Sistema de Registro do Agrotóxico no Brasil’, *Revista Alomorfia*, vol. 3, no. 1, pp. 49-60.  
<https://revistafatecppalomorfia.azurewebsites.net/index.php/alomorfia/article/view/73>
- ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. 2019. *Resolução nº 262, de 1º de Fevereiro de 2019 – ANVISA*. viewed 05 January 2021, <<https://in.gov.br/web/dou/-/resolucao-re-n-2080-de-31-de-julho-de-2019-208203097>>.
- Barroso, L.B. & Wolff, D.B. 2009, ‘Riscos e Segurança do Aplicador de Agrotóxicos no Rio Grande do Sul’, *Disc. Scientia. Série: Ciências Naturais e Tecnológicas*, v.10, no.1, pp. 27-52. <https://doi.org/10.37779/nt.v10i1.1253>
- Bertolote, J.M., Fleischmann, A., Eddleston, M. & Gunnell, D. 2006, ‘Deaths from pesticide poisoning: a global response’, *Br J Psychiatry*, vol. 189, pp. 201-203.  
<https://doi.org/10.1192/bjp.bp.105.020834>
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2021, *Informações Técnicas: Registro*, viewed 05 January 2021, <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/agrotoxicos/informacoes-tecnicas>>.
- Caldas, E.D. 2016. *Pesticide poisoning in Brazil. Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*. Elsevier, v. 10.
- Cargnin, M.C.S., Echer, I.C. & Silva, D.R. 2017, ‘Fumicultura: uso de equipamento de proteção individual e intoxicação por agrotóxico’, *Rev. Cuidado é Fundamental - UFRJ*. vol. 9, pp. 466-472. <https://doi.org/10.9789/2175-5361.2017.v9i2.466-472>
- Carneiro, F.F., Rigotto, R.M., Augusto, L.G.S., Friedrich, K. & Búrigo, A.C. (Org.). 2015, ‘Dossiê ABRASCO: Um alerta sobre os impactos dos agrotóxicos na saúde’, São Paulo: *Expressão Popular*, 624 p. [https://www.abrasco.org.br/dossieagrotoxicos/wp-content/uploads/2013/10/DossieAbrasco\\_2015\\_web.pdf](https://www.abrasco.org.br/dossieagrotoxicos/wp-content/uploads/2013/10/DossieAbrasco_2015_web.pdf)



- DataSUS. 2020. *TabNet – Intoxicações Exógenas*, viewed 15 December 2021 <<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/tabcgi.exe?sinannet/cnv/Intoxbr.def>>.
- Eddleston, M. 2000, 'Patterns and problems of deliberate self-poisoning in the developing world', *QJM: An International Journal of Medicine*, vol. 93, no. 11, pp. 715-715. <https://doi.org/10.1093/qjmed/93.11.715>
- Emater/RS-Ascar. 2020, *Safra verão 2020/2021 – Estimativas Iniciais de área, produtividade e produção*, viewed 05 January 2021, <<https://estado.rs.gov.br/upload/arquivos//estimativa-safra-de-verao-2020-2021.pdf>>.
- Embrapa Soja. 2020. *O Brasil na produção global de alimentos – Amélio Dall’Agnol*, viewed 05 January 2021, <<https://blogs.canalrural.com.br/embrapasoja/2020/09/21/o-brasil-na-producao-global-de-alimentos/>>.
- Faria, N.M.X., Fassa, A.G., Meucci, R.D., Fiori N.S. & Miranda, V.I. 2014, 'Occupational exposure to pesticides, nicotine and minor psychiatric disorders among tobacco farmers in southern Brazil', *Neurotoxicology*. vol. 45, pp. 347-354. <https://doi.org/10.1016/j.neuro.2014.05.002>
- Faria, N.M.X., Fassa, A.C.G. & Facchini, L.A. 2007, 'Intoxicação por agrotóxicos no Brasil: os sistemas oficiais de informação e desafios para realização de estudos epidemiológicos', *Ciênc. Saúde Coletiva*, vol. 12, no.1, pp. 25-38. <https://doi.org/10.1590/S1413-81232007000100008>
- Farsul - Federação da Agricultura do Rio Grande do Sul. 2021, *Farsul projeta safra 2020/2021 com nova quebra no milho e recuperação na soja*, viewed 05 January 2021, <<http://farsul.org.br/destaque/farsul-projeta-safra-2020-2021-com-nova-quebra-no-milho-e-recuperacao-na-soja,381745.jhtml>>.
- Formentini, J., Mancuso, M.A. & Albuquerque Filho, J.L. 2016, 'Estruturação de base de dados de qualidade das águas subterrâneas voltada para a gestão da Bacia do Rio da Várzea, Rio Grande do Sul, Brasil', *Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental*, vol. 6, pp. 88-97. [https://www.abge.org.br/downloads/revistas/RevistaABGE\\_6-1\\_Art6.pdf](https://www.abge.org.br/downloads/revistas/RevistaABGE_6-1_Art6.pdf)
- Frank, J.G., Caye, J.L., Mattiazzi, Â.L. & Battisti, I.D.E. 2018, 'Exposição a agrotóxicos e a ocorrência de alterações no sistema auditivo de agricultores atendidos em um Centro de Reabilitação Auditiva', *XXVI Seminário de Iniciação Científica*. Realeza, pp. 1-4.

- Freitas, A.B. & Garibotti, V. 2020, 'Caracterização das notificações de intoxicações exógenas por agrotóxicos no Rio Grande do Sul, 2011-2018', *Epidemiol Serv Saúde*, vol. 29. <https://doi.org/10.1590/S1679-49742020000500009>
- Frizon, E., Garcia, S.D., Strieder, D.M. & Lara, T.I.D.C. 2020, 'Perfil das intoxicações exógenas por agrotóxicos de uso agrícola', *Semina: Ciências Biológicas e da Saúde*, vol. 41, no. 2, pp. 177-190. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0367.2020v41n2p177>
- Gazolla, M. 2004. 'Agricultura familiar, segurança alimentar e políticas públicas: Uma análise a partir da produção de autoconsumo no território do Alto Uruguai/RS', Dissertação de Mestrado em Desenvolvimento Rural – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/5583>
- Hinkle, D.E., Wiersma, W. & Jurs, S.G. 2003, *Applied Statistics for the Behavioral Sciences*. 5th ed. Boston: Houghton Mifflin.
- Homerding, V.W. 2015. 'Os impactos dos agrotóxicos na saúde dos trabalhadores rurais no cultivo do fumo no município de Santa Cruz do Sul – RS', Trabalho de conclusão de curso em Serviço Social - Escola de Serviço Social, Universidade Federal do Rio de Janeiro. <https://pantheon.ufrj.br/handle/11422/10529>
- IBAMA – Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. 2019, *Relatório de Comercialização de agrotóxico*, viewed 20 January 2021, <<http://ibama.gov.br/agrotoxicos/relatorios-de-comercializacao-de-agrotoxicos>>.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2010, *Censo Demográfico*, viewed 06 January 2021,, <<https://censo2010.ibge.gov.br/>>.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2017, *Censo Agropecuário – 2017*, viewed 05 November 2020,, <<https://censos.ibge.gov.br/agro/2017/>>.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2018, *Produção Agrícola Municipal. 2018. Tabela 5457, Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA. 2018*, viewed 06 May 2020,, <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457>>.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2019, *Produção Agrícola Municipal (PAM) – culturas temporárias e permanentes*, viewed 16 January 2021,, <<https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=766>>.

- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2020, *Consulta estatísticas histórico estimativa populacional – download*, viewed 18 April 2021,, <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/downloads-estatisticas.html>>
- Kashyap, S.K., Jani, J.P., Saiyed, H.N. & Gupta, S.K. 1984, ‘Clinical Effects and cholinesterase activity changes in workers exposed to Phorate (Thimet)’, *Journal of Environmental Science and Health*, vol. 19, no. 4-5, pp. 479-89. <https://doi.org/10.1080/03601238409372445>
- Lara, S.S., Pignati, W.A., Pignatti, M.G., Costa Leão, L.H. & Machado, J.M.H. 2019, ‘A agricultura do agronegócio e sua relação com a intoxicação aguda por agrotóxicos no Brasil’, *Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde*, vol.15, no. 32, pp. 1-19. <https://doi.org/10.14393/Hygeia153246822>
- Lima, M.A., Bezerra, E.P., Andrade, L.M., Caetano, J.A. & Miranda, M.D.C. 2008, ‘Perfil epidemiológico das vítimas atendidas na emergência com intoxicação por agrotóxicos’, *Rev. Ciência, Cuidado e Saúde*, vol. 7, no. 3, pp. 288-294. <https://doi.org/10.4025/ciencucuidaude.v7i3.6480>
- Lopes, C.V.A. & Albuquerque, G.S.C. 2018, ‘Agrotóxicos e seus impactos na saúde humana e ambiental: uma revisão sistemática’, *Saúde debate*, vol. 42, no. 17, pp. 518-534. <https://doi.org/10.1590/0103-1104201811714>
- Mancuso, M.A. & Santos, C.E. 2021, ‘Avaliação hidrogeológica quali-quantitativa do aquífero fraturado Serra’, *Revista Geologia USP. Série Científica*, vol. 21, no.1, pp. 1-33. <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9095.v21-176588>
- Marcovici, F. 2019, *Contrabando de agrotóxico no RS cresce 38% em 2019, aponta relatório da PRF*, viewed 16 January 2021, <<https://www.correiodopovo.com.br/not%C3%ADcias/pol%C3%ADcia/contrabando-de-agrot%C3%B3xico-no-rs-cresce-38-em-2019-aponta-relat%C3%B3rio-da-prf-1.362789>>.
- Mission, K.V. 2006, *Pesticide spray proves disastrous in Salkiana Village, Jalandhar*, viewed 16 July 2020, <<https://www.countercurrents.org/en-kvm040806.htm>>.

- Nasralla, E., Lacaz, F. & Pignati, W. 2014, 'Vigilância em saúde e agronegócio: impactos dos agrotóxicos na saúde e ambiente. Perigo à vista', *Ciência & Saúde Coletiva*, vol. 29, no. 12, pp. 4709-4718. <https://doi.org/10.1590/1413-812320141912.03172013>
- Neves, P.D.M. & Bellini, M. 2013, 'Intoxicações por agrotóxicos na mesorregião norte central paranaense, Brasil-2002 a 2011', *Ciência & Saúde Col.*, vol. 18, pp. 3147-3156. <https://doi.org/10.1590/S1413-81232013001100005>
- Oderich, E.H. & Andrade, L.M. 2017, 'História e situação da agricultura e do desenvolvimento rural em quatro municípios do noroeste do Rio Grande do Sul', *COLÓQUIO-Revista do Desenvolvimento Regional*, vol. 14, no. 1, pp. 115-132. <https://doi.org/10.26767/coloquio.v14i1>
- Okuyama, J.H.H., Galvão, T.F & Silva, M.T. 2020, 'Intoxicações e fatores associados ao óbito por agrotóxicos: estudo caso controle, Brasil, 2017', *Revista Brasileira de Epidemiologia*, vol. 23. <https://doi.org/10.1590/1980-5497202000024>
- Portela, G. & Tourinho, R. 2016, *A força dos agrotóxicos legais e ilegais no Brasil*, viewed 16 January 2021, <<https://www.ecodebate.com.br/2016/01/27/a-forca-dos-agrotoxicos-legais-e-ilegais-no-brasil-por-graca-portela-e-raiza-tourinho/>>.
- Public Eye. 2019, 'Highly hazardous profits - How Syngenta makes billions by selling toxic pesticides', 56 p. <https://www.publiceye.ch/en/publications/detail/highly-hazardous-profits>
- Queiroz, G.R., Neto, F.I.A., Peres, G.A. & Souza, G.A. 2020, 'Perfil epidemiológico de intoxicação exógena por agrotóxicos no Município de Jataí, Goiás', *Brazilian Journal of Health Review*, vol. 3, no. 4, pp. 8197-8211. <https://doi.org/10.34119/bjhrv3n4-078>
- Ramos, J.S.A., Pedroso, T.M.A., Godoy, F.R., Batista, R.E., Almeida, F.B., Francelin, C., Ribeiro, F.L., Parise, M.R. & Silva, D.M. 2021, 'Multi-biomarker responses to pesticides in an agricultural population from Central Brazil', *Science of The Total Environment*, vol. 754. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141893>
- Rio Grande do Sul. Secretaria Estadual do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul – SeMa. 2010, *Unidades de Conservação Região Norte*, viewed 16 January 2021, <<https://sema.rs.gov.br/unidades-de-conservacao-estaduais>>.

- Rio Grande do Sul. Secretaria de Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento Rural. 2019, *Sistema de Gestão Integrada de Agrotóxicos (SIG@)*, viewed 16 January 2021, <<https://www.agricultura.rs.gov.br/sig-clique-aqui>>.
- Riquinho, D.L. & Henningto, E.A. 2014, 'Tobacco cultivation in the south of Brazil: green tobacco sickness and other health problems', *Ciênc. Saúde Colet*, vol. 19, no. 12, pp. 4797-4808. <https://doi.org/10.1590/1413-812320141912.19372013>
- Santos, C.E., Mancuso, M.A., Toebe, M. & Lissak, T.S. 2021, 'Estimativa do Potencial de Contaminação das águas subterrâneas e superficiais por agrotóxicos no noroeste do Estado do Rio Grande do Sul', *Rev. Geociências – UNESP*. Em avaliação.
- Santos, C.E., Medeiros, R.C. & Mancuso, M.A. 2020, 'Água subterrânea dos poços da área rural de Frederico Westphalen-RS: Qualidade, aspectos ambientais e conformidade Legal', *Rev. Anuário Geociências UFRJ*, vol. 43, no. 4, pp. 330-340. [https://doi.org/10.11137/2020\\_4\\_330\\_340](https://doi.org/10.11137/2020_4_330_340)
- Santos, S.A., Legay, L.F. & Lovisi, G.M. 2013, 'Substâncias tóxicas e tentativas e suicídios: considerações sobre acesso e medidas restritivas', *Cad. Saúde coletiva*, vol. 21, no. 1, pp. 53-61. <https://www.scielo.br/j/cadsc/a/kT44CNhFvnQrbdCbCjftKjy/?lang=pt>
- Schmidt, M.L.G. & Godinho, P.H. 2006, 'Um breve estudo acerca do cotidiano do trabalho de produtores rurais: intoxicações por agrotóxicos e subnotificação', *Rev. Bras. Saúde Ocup*, vol. 31, no. 113, pp. 27-40. <https://doi.org/10.1590/S0303-76572006000100004>
- Sivayoganathan, C., Gnanachandran, S., Lewis, J. & Fernando, M. 1995, 'Protective measure use and symptoms among agropesticide applicators in Sri Lanka' *Social Science & Medicine*, vol. 40, pp. 431-436. [https://doi.org/10.1016/0277-9536\(94\)00143-H](https://doi.org/10.1016/0277-9536(94)00143-H)
- R Core Team. *R: a language and environment for statistical computing*.. viewed 16 January 2021, <<http://www.R-project.org>>.
- Sperb, P. 2016, *Epidemia de câncer'? Alto índice de agricultores gaúchos doentes põe agrotóxicos em xeque*. *BBC Brasil*. viewed 16 January 2021, <<http://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/noticia/2016/08/epidemia-de-cancer-alto-indice-de-agricultores-gauchos-doentes-poe-agrotoxicos-em-xeque.html>>.
- Thanal Conservation and Information Network. 2001, '*Phorate poisoning in India*', *Pesticide News*, no. 53, p.5.

- Van der Hoek, W., Konradsen, F., Athukorala, K. & Wanigadewa, T. 1998, 'Pesticide poisoning: a major health problem in Sri Lanka'. *Soc Sci Med*, vol. 46, pp. 495-504. [https://doi.org/10.1016/S0277-9536\(97\)00193-7](https://doi.org/10.1016/S0277-9536(97)00193-7)
- Wesendonck, C.C., Lopes, A.D.A., Fabrízio, C.M. & Banaseski, G.M. 2017, 'Análise da produção agrícola da região do médio alto uruguai do estado do Rio Grande do Sul', *Seminário Internacional sobre Desenvolvimento Regional 2017*, UNISC, Santa Cruz, RS, pp. 1-15.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos que compõem a presente pesquisa tratam sobre o uso de agrotóxicos em áreas majoritariamente agrícolas pertencentes a 25 municípios do Noroeste do Rio Grande do Sul. A região estudada faz parte da 2ª Coordenadoria Regional de Saúde. Conforme os resultados obtidos, os municípios de Seberi e Cristal do Sul possuem as maiores extensões de áreas agrícolas, com um percentual de 80 a 89% de área plantada.

A região apresenta uso e ocupação do solo principalmente agrícola, com o plantio de culturas anuais e perenes ocupando aproximadamente 1.460,98 km<sup>2</sup>. Essa atividade, somada às áreas com mosaico de agricultura e pastagem (1.167,79 km<sup>2</sup>), correspondem a 59,9% do território. Em seguida estão as áreas de formações florestais com 27,5% (1.204,54 km<sup>2</sup>) de ocupação e as pastagens, com 9,9% (433,5 km<sup>2</sup>). Entre os usos do solo com menor expressão estão as florestas plantadas, as formações campestres, as áreas sem vegetação e as áreas urbanas, que juntas contabilizam cerca de 1,8%. Além disso, aproximadamente 1,5% do território é ocupado por rios e lagos.

Para o desenvolvimento das culturas são utilizados, principalmente, os seguintes agrotóxicos: glifosato, dicloreto de paraquate, atrazina, trifloxistrobina, simazina, protioconazol, mancozebe, 2,4-D, acefato e imidaclorprido.

Tais agrotóxicos são desreguladores endócrinos e quando aplicados no solo, podem infiltrar, atingindo as águas subterrâneas (estimativa realizada pelo índice de GUS, neste estudo), assim como escoar em superfície e atingir os corpos hídricos superficiais, sendo transportados dissolvidos em água (estimativa realizada pelo método de GOSS, neste estudo). Além disso, alguns agrotóxicos podem ficar retidos no solo (calculado pelo Fator de Retardo) ou apresentar maior ou menor potencial de lixiviação (calculado pelo Fator de Atenuação). De acordo com os modelos aplicados, a análise dos agrotóxicos mais utilizados no NW do estado do Rio Grande do Sul indica que a atrazina, 2,4-D, imidaclorprido, simazina e protioconazol devem ter intenso monitoramento, pois têm significativo potencial para contaminar o solo, as águas superficiais e as águas subterrâneas.

Além de problemas para o ambiente, os agrotóxicos juntamente com os produtos químicos também são agentes tóxicos causadores de intoxicações exógenas. No período de 10 anos (2009-2018), foram registradas 341 intoxicações exógenas em 20 municípios abrangidos pela 2ª Coordenadoria Regional de Saúde. Dentre esses, destacam-se os municípios de Tenente Portela, Frederico Westphalen e Alpestre, por apresentar o maior número de intoxicações

exógenas no período de 10 anos. Esses municípios apresentam atividades regidas, predominantemente, pela agricultura familiar. No mesmo período, os municípios que tiveram maior incidência de intoxicações foram Alpestre, Tenente Portela e Novo Tiradentes, considerando que o cálculo de incidência leva em conta a população do local e o número de casos registrados no período.

Quando correlacionadas, as intoxicações exógenas, e os indicadores do censo demográfico e do censo agropecuário (IBGE), foi constatado que as intoxicações ocorrem em áreas rurais e urbanas, e que os dados ignorados/em branco referiram-se as intoxicações em área rural.

Quanto aos demais indicadores, em áreas onde há agricultura familiar, não necessariamente faz-se o uso de agrotóxicos.

Outro fator observado é que em áreas com uso de agrotóxicos, nem sempre há assistência técnica adequada para o manejo dos produtos químicos. Os municípios com maior registro de intoxicações exógenas apresentaram < 70% de áreas abrangidas por assistência técnica, mesmo assim, na maioria das vezes a assistência técnica não é contínua.

Frente ao exposto, este estudo evidenciou que o uso das geotecnologias possibilita a elaboração de diagnósticos por municípios e regiões de saúde, revelando que a aplicação de agrotóxicos em solos destinados à atividade agrícola, possibilita o transporte desses produtos químicos para as águas superficiais e subterrâneas, em municípios do Noroeste do Rio Grande do Sul.

As águas, eventualmente contaminadas, podem ser captadas por meio de poços utilizados para usos diversos, inclusive o abastecimento humano. O risco de contaminação dos corpos hídricos evidenciado neste estudo pode ser o mecanismo de transporte do agente tóxico, para áreas rurais e urbanas quando se trata de intoxicações exógenas. É necessário, por meio dos órgãos governamentais, a implementação de programas e ações que tenham por finalidade combater o manejo inadequado de agrotóxicos nesses municípios e aumentar o controle da qualidade dos solos e das águas superficiais e subterrâneas, como forma de identificar eventuais fontes de contaminação do meio.

Defende-se que a agricultura de base ecológica tem a capacidade de produzir de forma consciente e ofertar à sociedade desafios na área da sustentabilidade ambiental, social e econômica, mobilizando, atualmente, vários órgãos das Nações Unidas que apontam a agroecologia como o enfoque mais adequado para a reestruturação dos modernos sistemas agroalimentares.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO - ANA. **Quase metade da água usada na agricultura é desperdiçada.** Disponível em: <https://www.ana.gov.br/noticias-antigas/quase-metade-da-a-gua-usada-na-agricultura-a-c.2019-03-15.2354987174>. Acesso em novembro de 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA - ANVISA. **Anvisa vai reclassificar defensivos agrícolas que estão no mercado.** 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/anvisa-vai-reclassificar-todos-os-agrotoxicos-que-estao-no-mercado>. Acesso em dezembro de 2020.

ANDRADE, A.S. et al. Análise de risco de contaminação de águas superficiais e subterrâneas por pesticidas em municípios do Alto Paranaíba - MG. **Quim. Nova**, v.34, p.1129–1135, 2011. AQUINO, C.S.; VALLADARES, S. V. S. G. Geografia, Geotecnologias e Planejamento Ambiental. **Revista: Geografia (Londrina)**, v. 22, n.1, p. 117-138, 2013.

ARAÚJO, E. P. **Efeitos da deriva de agrotóxicos oriunda de atividade agrícola no município de Rio Sono (TO) e avaliação da legislação quanto a deriva dessas substâncias para a flora de áreas protegidas de imóveis rurais.** 2018, 84 p. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade, Ecologia e Conservação) - Universidade Federal do Tocantins Campus Universitário de Porto Nacional, Porto Nacional – TO, 2018.

BELLEI, T.T. **O uso de agrotóxicos e a prevalência de neoplasias no município de Vacaria/RS.** 2017, 125 p. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia e Ciências Ambientais) - Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2017.

BOMBARDI, L. **Geography of Asymmetry: the vicious cycle of pesticides and colonialism in the commercial relationship between Mercosur and the European Union.** Ed.: The Left. 52 p. 2021.

BONNER M.R. et al. Occupational exposure to carbofuran and the incidence of cancer in the Agricultural Health Study. **Environ Health Perspect.** v. 113, n. 3, p. 9 - 285. 2005. BORTOLUZZI, E.C. et al. Investigation of the occurrence of pesticide residues in rural wells and surface water following application to tobacco. **Química Nova**, v. 30, n. 8, p. 872-1876, 2007.

BRASIL. Lei n. 7.802 de 11 de julho de 1989. Dispõe sobre a pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem e rotulagem, o transporte, o armazenamento, a comercialização, a propaganda comercial, a utilização, a importação, a exportação, o destino final dos resíduos e embalagens, o registro, a classificação, o controle, a inspeção e a fiscalização de agrotóxicos, seus componentes e afins, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 12 de julho de 1989.

BRASIL. Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde. Relatório Nacional de Vigilância em saúde de populações expostas a agrotóxicos. v. 2, Brasília: Ministério da Saúde, 2018. Disponível em: [http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/relatorio\\_nacional\\_vigilancia\\_populacoes\\_expostas\\_agrotoxicos.pdf](http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/relatorio_nacional_vigilancia_populacoes_expostas_agrotoxicos.pdf)

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Fundação Oswaldo Cruz. **Abordagens espaciais na saúde pública**. Ministério da Saúde, Fundação Oswaldo Cruz, 2006. 136 p.

BULL, D.; HATHAWAY, D. **Pragas e Venenos: Agrotóxicos no Brasil e no Terceiro Mundo**. 1 ed. Petrópolis: Ed.Vozes/Oxfam/Fase, 1986, 235 p.

BURILLO-PUTZE, G. et al. Exposure to persistent and non-persistent pesticides in a non-occupationally exposed population in Tenerife Island (Spain). **Gaceta Sanitaria**, v. 28, n. 4, p. 301-304, Julho/Ago. 2014.

CALDAS, S.S. et al. Pesticide Residue Determination in Groundwater using Solid-Phase Extraction and High-Performance Liquid Chromatography with Diode Array Detector and Liquid Chromatography-Tandem Mass Spectrometry. **Journal of The Brazilian Chemical Society**. v.21, n.4, p.642-650, 2010.

CÂMARA, G.; CASANOVA, M. A.; MAGALHÃES, G. C. Anatomia de sistemas de informação geográfica. 1996.

CAMPOS, E. et al. Exposure to pesticides and mental disorders in a rural population of Southern Brazil. **Neurotoxicology**. v. 56, p.7-16, 2017.

CARVALHO, A. O. Sistemas de Informação em Saúde para Municípios. São Paulo: Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, v. 6, 1998. 117 p.

CHAIM, A. Tecnologia de Aplicação de Agrotóxicos: Fatores que afetam a eficiência e o impacto ambiental. In: SILVA, C. M. M. S.; FAY, E. F. (Eds.). **Agrotóxicos & Ambiente**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004.

COSTA, C.N. et al. Contaminantes e poluentes do solo e do ambiente. In: MEURER, E. J. **Fundamentos de química do solo**. 2 ed. Porto Alegre, p. 290, 2004.

DELGADO, G. C. **A questão agrária no Brasil 1950 – 2003**. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. 40 p. Disponível em: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/126539/mod\\_resource/content/2/Guilherme%20%20Delgado%20Quest%C3%A3o%20Agr%C3%A1ria.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/126539/mod_resource/content/2/Guilherme%20%20Delgado%20Quest%C3%A3o%20Agr%C3%A1ria.pdf). Acesso em jan. 2021.

DEMOLINER, A. et al. Development and validation of a method using SPE and LC-ESI-MS-MS for the determination of multiple classes of pesticides and metabolites in water samples. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 21, n. 8, p.1424-1433, 2010.

FAN, F.M. et al. Resíduos de agrotóxicos em água e solo de município em região produtora de fumo no Rio Grande do Sul. **Saúde coletiva, desenvolvimento e (in) sustentabilidades no rural**. p. 89-108, 2018.

FARIA, N.M.X.; FASSA, A.G.; FACCHINI, L.A. Intoxicação por agrotóxicos no Brasil: os sistemas oficiais de informação e desafios para realização de estudos epidemiológicos. **Ciênc Saúde Coletiva**, v. 12, n. 1, p. 25 – 38, jan./mar. 2007.

FERREIRA, M. M.; SANTOS, S. L. M.; COSTA, A. B.; PEDROSA, D. L. R.; FREITAS, R. S. O uso do SIG, **Para a Gestão e Monitoramento Ambiental de Bacias Hidrográficas em Porto Velho - O caso do Igarapé Belmont - Porto Velho - RO**. In: ENCUESTRO DE GEÓGRAFOS DE AMÉRICA LATINA, 12, Montivideo – Uruguay, 2009.

GOMES, A. R. C. **Aplicação de Análise Multivariada em dados de Agrotóxicos na Água para Consumo Humano do Brasil de 2014 a 2018**. 2019. 45 f. Tese (Doutorado Engenharia Química) - Universidade Federal Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2019.

GONÇALVES, H. C.; COSTA, J. B. Intoxicação exógena: casos no estado de Santa Catarina no período de 2011 a 2015. **Arquivos Catarinenses de Medicina**, v. 47, n. 3, p. 02-15, 2018.

GORELICK, N.; HANCHER, M.; DIXON, M.; ILYUSHCHENKO, S.; THAU, D.; MOORE, R. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. **Rev. Remote Sensing, of Environment**, v. 202, p 18-27, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>>. Acesso em maio de 2021.

GOSS, D.W. Screening procedure for soils and pesticides for potential water quality impacts. **Weed Technol.** v.6, n.3, p.701-708, 1992.

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

HENGEL, M.; LEE P. Community air monitoring for pesticides - part 2: multiresidue determination of pesticides in air by gas chromatography, gas chromatography-mass spectrometry, and liquid chromatography-mass spectrometry. **Environ Monit Assess.** v.186, n.3, p.1343-1353, 2014.

HUNTER, V.H.; STABBE, E.H. **Weed Science**, v.20, p.486-489, 1972.

IBAMA. Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Relatório de Comercialização de Agrotóxico – Boletim 2019**. Atualizado em 2020. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/agrotoxicos/relatorios-de-comercializacao-de-agrotoxicos#boletinsanuais>. Acesso em: 5 março 2021.

JACOBSON, L. S. V. et al. Comunidade pomerana e uso de agrotóxicos: uma realidade pouco conhecida. **Cien Saude Coletiva**, v. 14, n. 6, p. 2239 - 2249 dez. 2009.

JAMAL, F.; HAQUE, Q. S.; SINGH, S. Interrelation of Glycemic Status and Neuropsychiatric Disturbances in Farmers with Organophosphorus Pesticide Toxicity. **Open Biochem J**, v. 10, p. 27 – 34, abr. 2016.

JONG, F.M.W.; SNOO, G.R.; ZANDE, J.C.V. Estimated nationwide effects of pesticide spray drift on terrestrial habitats in the Netherlands. **Journal of Environmental Management**, v. 86, n. 4, p. 30 – 720, abr. 2008.

KIM, J.; SHIN, D. H.; LEE, W. J. Suicidal ideation and occupational pesticide exposure among male farmers. **Environ Res.** v.128, p. 52-6, 2014.

LERRO, C. C. et al. Organophosphate insecticide use and cancer incidence among spouses of pesticide applicators in the Agricultural Health Study. **Occup Environ Med**, v. 72, n. 10, p. 44-736, jul. 2015.

LOURENCETTI, C.; RIBEIRO, M. L.; SANTIAGO-SILVA, M. Avaliação do risco de contaminação de água subterrânea por pesticidas: comparação entre modelos. **Rev. Águas Subterrâneas**, n. 1, 2004.

MARCHESAN, E. et al. Resíduos de agrotóxicos na água de rios da Depressão Central do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. **Rev. Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 5, p.1053-1059, mai, 2010.

MENDONÇA, C. F. R. **Determinação de glifosato e AMPA nas águas superficiais da bacia do Paraná 3**. Araraquara – SP, 2018, 130p. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Estadual Paulista.

MENEZES, S. J. M. C.; RIBEIRO, C. A. A. S.; LIMA, C. A.; SOUZA, M. O. A. Geotecnologias Aplicadas à Gestão Ambiental. **Rev. Diversidade e Gestão - Volume Especial Gestão Ambiental: Perspectivas, Conceitos e Casos**, v.1, n.1, p.57-69. 2017.

MOREIRA J. C. et al . Avaliação integrada do impacto do uso de agrotóxicos sobre a saúde humana em uma comunidade agrícola de Nova Friburgo, RJ. **Ciênc. Saúde Col**. v. 7, n. 2, p. 299 – 311, 2002.

MORO, B. P. Um estudo sobre a utilização de agrotóxicos e seus riscos na produção do fumo no município de Jacinto Machado/SC. Monografia (Especialização). Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC, Criciúma, 2008.

NGUYEN, H.T. et al. Learning ability as a function of practice: Does it apply to farmworkers?. **J Occup Env Med**. v.57, n. 6, p. 678-81, 2015.

NOVAIS, C.M.; QUEIROZ, T.M.; JÚNIOR, S.S. Panorama da contaminação ambiental por agrotóxicos no estado do mato grosso: risco para o abastecimento urbano. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 1, p. e23010111667-e23010111667, 2021.

OESTERLUND, A. H. et al. Pesticide knowledge, practice and attitude and how it affects the health of smallscale farmers in Uganda: a cross-sectional study. **Afr Health Sci**. V. 14, n. 2, p. 420 - 433, 2014.

PARKS, C. G. et al. Rheumatoid arthritis in agricultural health study spouses: associations with pesticides and other farm exposures. *Environ Health Perspect*. v. 124, n. 11, p. 1728 – 1734, 2016.

PERES, F.; MOREIRA, J.C.; DUBOIS, G.S. Agrotóxicos, saúde e ambiente: uma introdução ao tema. **É veneno ou é remédio**, p. 21-41, 2003.

PIGNATI, W. A. et al. Distribuição espacial do uso de agrotóxicos no Brasil: uma ferramenta para a Vigilância em Saúde. **Rev. Ciência & Saúde Coletiva**, v. 22, p. 3281-3293, 2017.

PIGNATI, W. A.; MACHADO, J. M. H.; CABRAL, J. F. Acidente rural ampliado: o caso das “chuvas” de agrotóxicos sobre a cidade de Lucas do Rio Verde – MT. **Rev. Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 1, p. 105-114, 2007.

PINTO, S. A. F.; GARCIA, G. J. Experiências De Aplicação De Geotecnologias e Modelos Na Análise De Bacias Hidrográficas. **Rev. Departamento de Geografia**. v. 17, p. 30- 37. 2005.

PONTES, A. G. V. et al. Os perímetros irrigados como estratégia geopolítica para o desenvolvimento do semiárido e suas implicações à saúde, ao trabalho e ao ambiente. **Rev. Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 18, n. 11, p. 3.213-3.222, 2013.

RAO, P.; HORNBY, A.; JESSUP, R. Indices for taking the potential for pesticide contamination of groundwater. **Soil and Crop Science Society of Florida Proceedings**, v.44, p.1-8, 1985.

RICHARD, S. et al. Differential effects of glyphosate and Roundup on human placental cells and aromatase. **Environmental Health Perspectives**, Bethesda, v. 113, n. 6, p. 716-720, 2005.

ROSA, I. F.; PESSOA, V. M.; RIGOTTO, R. M. Introdução: agrotóxicos, saúde humana e os caminhos do estudo epidemiológico. In: RIGOTTO, R. M. (Org.). **Agrotóxicos, Trabalho e Saúde: vulnerabilidade e resistência no contexto da modernização agrícola no Baixo Jaguaribe/CE**. Fortaleza: Edições UFC, 2011. Acesso em: 8 jul. 2020.

RUBBO, J. P.; ZINI, L. B. Avaliação dos controles de agrotóxicos na água para consumo humano dos sistemas de abastecimento de água do Rio Grande do Sul. **Boletim da Saúde**, v. 26, n. 1, p.17-27, 2017.

RUPPENTHAL, J. E. Toxicologia. Colégio Técnico Industrial de Santa Maria. Santa Maria: **Rede e-Tec Brasil**; p. 128, 2013.

SABIK, H.; JEANNOT, R.; RONDEAU, B. Multiresidue methods using solid-phase extraction techniques for monitoring priority pesticides, including triazines and degradation products, in ground and surface Waters. **Journal of Chromatography**. v. 885, p. 217- 236, 2000.

SALAMEH P.R.; ABI SALEH, B. Symptoms and acute pesticide intoxication among agricultural workers in Lebanon. **J Med Liban**. v. 52, n. 2, p. 64 – 70, 2004.

SANCHEZ, J.A.A. **Efeitos comparativos de herbicidas à base de glifosato sobre parâmetros oxidativos e qualidade espermática no peixe estuarino *Jenynsia multidentata***. Rio Grande – RS, 2015, 63p. Dissertação (Mestrado em Biologia de Ambientes Aquáticos Continentais) – Universidade Federal do Rio Grande.

SANTOS, S. M; BARCELLOS, C. (Org). Abordagens espaciais na saúde pública. **Ministério da Saúde, Fundação Oswaldo Cruz**, Brasília, p. 1-136, jan. 2006.

SCHIEDEL, M.; FERREIRA, M. F. Introdução à agricultura de precisão: conceitos e vantagens. **Cienc. Rural**, Santa Maria , v. 32, n. 1, p. 159-163, Feb. 2002.

SCHMIDT, M. L. G.; GODINHO, P. H. Um breve estudo acerca do cotidiano do trabalho de produtores rurais: intoxicações por agrotóxicos e subnotificação. **Rev. bras. saúde ocup.** São Paulo, v. 31, n. 113, p. 27-40, Junho, 2006.

SEGAWA R. et al. Community air monitoring for pesticides. Part 1: selecting pesticides and a community. **Environ Monit.** v.186, n.3, p.1327-1341, 2014.

SILVA, G. A. B; DAVID, P. L. D.; BIANCHI, G. A utilização do SIG para o planejamento urbano. **Revista Científica ANAP Brasil**, v. 10, n. 21, 2017.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES TOXICO-FARMACOLÓGICAS - SINITOX. Disponível em: <<https://sinitox.icict.fiocruz.br/dados-nacionais>>. Acesso em novembro de 2020.

SMIDT, D. **Os Agrotóxicos e Seus Efeitos no Meio Ambiente**. Trabalho de Conclusão de curso – Ciências Biológicas – UNB, 24 p. 2001. Disponível em: <https://repositorio.uniceub.br/jspui/bitstream/123456789/2411/2/9710981.pdf>

SPADOTTO, C. A.; FILIZOLA, H.; GOMES, M. A. Avaliação do potencial de lixiviação de pesticidas em latossolo da região de Guaíra, SP. **Pesticidas: revista de ecotoxicologia e meio ambiente**, v. 11, 2001.

SPRADA, E. Toxicologia. **Instituto Federal do Paraná** – Curitiba – PR, 2013, 140 p.

STEFFEN, G. P. K.; STEFFEN, R. B.; ANTONIOLLI, Z. I. Contaminação do solo e da água pelo uso de agrotóxicos. **Tecnologia Ambiental**. v. 15, n. 1, 2011.

TODESCHINI, B.H. **Avaliação da presença de agrotóxicos por cromatografia líquida acoplada à Espectrometria de massas em águas superficiais e na rede pública de abastecimento de água no Rio Grande do Sul**. Florianópolis - SC, 2013, 122p. Dissertação (Mestrado em Perícias Criminais Ambientais) – Universidade Federal de Santa Catarina.

TODESCHINI, B.H.; FEUERHARMEL, M. R. Sistema Nacional de Criminalística do Departamento de Polícia Federal. **Lauda 305**. UTEC/DPF/SMA/RS, 22.09.2010.

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

TOOGE, R. Lista: Quais são e para que servem os ingredientes dos agrotóxicos mais vendidos.

**G1: Agro**, 4 nov. 2019. Disponível em: <<https://g1.globo.com/economia/agronegocios/noticia/2019/10/07/quais-sao-e-para-que-servem-os-principais-ingredientes-dos-agrotoxicos-mais-vendidos.ghtml>>. Acesso em: 15 abril 2021.

VEIGA, M. M. et al. Análise da contaminação dos sistemas hídricos por agrotóxicos numa pequena comunidade rural do Sudeste do Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 22, n.11, p. 2391-2399, 2006.

WELTER, T. P. **Determinação multirresíduos de agrotóxicos em águas de poços de captação utilizados para o consumo humano na zona rural de Cerro Largo (RS)**. Monografia. Universidade Federal da Fronteira Sul – campus Cerro Largo, 2018.

WORRAL, F.; BESIEN, T.; KOLPIN, D. W. Groundwater vulnerability: Interaction of chemical and site properties. **Science of the Total Environment**, v. 229, n. 1-3, p.131-143, 2002.