

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

Tariana Lissak Schüller

**AVALIAÇÃO DE RISCO À SAÚDE HUMANA DECORRENTE DO USO DE
AGROTÓXICOS EM MUNICÍPIOS DO NOROESTE DO RIO GRANDE DO SUL**

Frederico Westphalen, RS
2023

Tariana Lissak Schüller

**AVALIAÇÃO DE RISCO À SAÚDE HUMANA DECORRENTE DO USO DE
AGROTÓXICOS EM MUNICÍPIOS DO NOROESTE DO RIO GRANDE DO SUL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito para obtenção do grau de Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental.

Orientadora: Prof^a. Dra. Malva Andrea Mancuso
Co-orientador: Prof. Dr. Alexandre Couto Rodrigues

Frederico Westphalen, RS
2023

Lissak Schüller, Tariana
AVALIAÇÃO DE RISCO À SAÚDE HUMANA DECORRENTE DO USO DE
AGROTÓXICOS EM MUNICÍPIOS DO NOROESTE DO RIO GRANDE DO
SUL / Tariana Lissak Schüller.- 2023.
91 p.; 30 cm

Orientador: Malva Andrea Mancuso
Coorientador: Alexandre Couto Rodrigues
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Campus de Frederico Westphalen, Programa de Pós
Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, RS, 2023

1. Análise de risco à saúde humana por uso de
agrotóxicos I. Andrea Mancuso , Malva II. Couto
Rodrigues, Alexandre 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, TARIANA LISSAK SCHÜLLER, 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.

Tariana Lissak Schüller

**AVALIAÇÃO DE RISCO À SAÚDE HUMANA DECORRENTE DO USO DE
AGROTÓXICOS EM MUNICÍPIOS DO NOROESTE DO RIO GRANDE DO SUL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito para obtenção do grau de Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental.

Aprovada em 06 de janeiro de 2023.

**Malva Andrea Mancuso, Dr.a (UFSM)
(Presidente/Orientadora)**

Thiarles Brun, Dr. (URI/FW)

Willian Fernando de Borba, Dr. (UFSM)

Frederico Westphalen, RS
2023

DEDICATÓRIA

Dedico aos meus queridos pais Lotario e Ivanete e minha irmã Poliana que sempre estiveram ao meu lado me apoiando e incentivando a buscar conhecimento.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço à Deus por ter permitido que tudo isso fosse possível ao longo dessa caminhada, dando força, coragem e ânimo para alcançar minhas metas.

À minha família, especialmente a meu Pai, minha Mãe, minha Irmã, meu Cunhado e minha sobrinha Sara, que nunca mediram esforços para me apoiar nas decisões, por sempre estarem do meu lado e principalmente por serem meus exemplos de vida, meu eterno agradecimento.

Aos amigos, que sempre me incentivaram, apoiaram e inspiraram através de gestos e palavras a superar todas as dificuldades encontradas, sempre enviando energias positivas mesmo que distantes.

Agradeço a minha orientadora Professora Dra. Malva Andrea Mancuso, a senhora foi à peça-chave para que eu desenvolvesse esse trabalho. Sou grata por toda ajuda, conselhos e amizade de sempre.

Agradeço ao meu co-orientador Professor Dr. Alexandre Couto Rodrigues, pelos auxílios prestados no decorrer do desenvolvimento da presente dissertação.

Agradeço a minha amiga Caroline Emiliano Santos, por todo auxílio prestado no desenvolvimento deste trabalho, amizade e conselhos, sem você ele não seria possível.

Agradeço ao *campus* da Universidade Federal de Santa Maria em Frederico Westphalen - UFSM-FW, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, juntamente com seus professores, secretários e técnicos administrativos que contribuíram e auxiliaram na minha formação.

A todos que de alguma forma estiveram presentes nessa etapa da minha vida e que são essenciais para eu ser, a cada dia dessa longa jornada, um ser humano melhor.

RESUMO

AValiação DE RISCO À SAÚDE HUMANA DECORRENTE DO USO DE AGROTÓXICOS EM MUNICÍPIOS DO NOROESTE DO RIO GRANDE DO SUL

AUTORA: Tariana Lissak Schüller
ORIENTADORA: Malva Andrea Mancuso

É estimado que pelo menos dois terços do total dos agrotóxicos conhecidos sejam utilizados na agricultura, trazendo benefícios para o produtor rural como o aumento da produtividade, qualidade e diminuição das pragas. Porém, apesar de terem funções importantes na produção agrícola, a sua intensa utilização pode afetar a qualidade do solo e da água, ocasionando riscos ecológicos e à saúde humana, especialmente no ambiente de produção rural. Com essa preocupação, esse estudo tem por objetivo avaliar o risco à saúde humana do trabalhador rural, causado pela utilização de agrotóxicos em 25 municípios do Noroeste do Rio Grande do Sul. A avaliação foi realizada utilizando a metodologia de “Avaliação de riscos à saúde humana para fins de gerenciamento de áreas contaminadas”, indicada pela ABNT NBR 16.209. As substâncias químicas de interesse utilizadas foram glifosato, dicloreto de paraquate, atrazina, mancozebe, 2,4-D e acefato. Foi considerado como meio físico de exposição rural o solo superficial e as vias de exposição analisadas foram contato dérmico, ingestão e inalação. Foram considerados dois cenários de exposição, sendo um com aplicação única da substância química de interesse no solo e outro com repetidas aplicações. Dos seis agrotóxicos citados apenas a atrazina é considerada carcinogênica, pois possui fator de carcinogenicidade possibilitando o cálculo do risco carcinogênico. As demais substâncias são classificadas como não carcinogênicas, possuindo dose de referência. Por ser a única carcinogênica, a atrazina pode ser considerada substância química de interesse mais tóxica dentre as analisadas. Entretanto, não foi encontrado risco carcinogênico por contato dérmico ou ingestão em nenhum dos dois cenários relacionados à aplicação de atrazina. Também não foi encontrado risco não carcinogênico por contato dérmico ou ingestão em nenhum dos cenários. Em relação à via de exposição de inalação de partículas de solo, foi encontrado risco carcinogênico para a atrazina em todos os municípios nos dois cenários analisados. Na aplicação única de substâncias não carcinogênicas foi encontrado risco à saúde relacionado ao dicloreto de paraquate em todos os municípios, exceto Cristal do Sul. O acefato oferece risco no caso de inalação de partículas de solo, no cenário de aplicação única, em 72,00% dos municípios. Considerando substâncias não carcinogênicas e cenário de aplicação múltipla, foi encontrado risco de inalação pela substância química de interesse do dicloreto de paraquate em 16,00% dos municípios. Também foi encontrado risco não carcinogênico no caso de inalação de partículas com acefato, no cenário de aplicação múltipla, em 44,00% dos municípios. Considerando o risco total, o município de Tiradentes do Sul teve o maior risco total não carcinogênico no primeiro cenário de exposição e Novo Tiradentes no segundo cenário. Vista Gaúcha teve o maior risco total carcinogênico. Comparando os resultados obtidos nos dois cenários de exposição às substâncias químicas avaliadas neste estudo, o segundo cenário apresenta o menor risco de danos à saúde humana, sendo que todos os municípios possuem risco não carcinogênico e carcinogênico para a saúde humana.

Palavras-chave: Agricultura. Carcinogenicidade Exposição. Ingestão.

ABSTRACT

EVALUATION OF THE RISK TO HUMAN HEALTH FROM THE USE OF AGROCHEMICALS IN MUNICIPALITIES IN THE NORTHWEST OF RIO GRANDE DO SUL

AUTHOR: Tariana Lissak Schüller
ADVISOR: Malva Andrea Mancuso

It is estimated that at least two thirds of all known pesticides are used in agriculture, bringing benefits to rural producers such as increased productivity, quality and reduction of pests. However, despite having important functions in agricultural production, their intense use can affect soil and water quality, causing ecological and human health risks, especially in the rural production environment. With this concern, the present study aims to evaluate the risk to human health of rural workers caused by the use of pesticides in 25 municipalities in the Northwest of Rio Grande do Sul. The evaluation was carried out using the methodology of “Assessment of risks to human health for the purpose of managing contaminated areas”, indicated by ABNT NBR 16.209. The Chemical Substances of Interest (SQI) used were glyphosate, paraquat dichloride, atrazine, mancozeb, 2,4-D and acephate. Surface soil was considered as the physical means of rural exposure and the exposure routes analyzed were dermal contact, ingestion and inhalation. Two exposure scenarios were considered, one with a single application of SQI to the soil and the other with repeated applications. Of the six pesticides mentioned, only atrazine is considered carcinogenic, as it has a carcinogenicity factor (SF) allowing the calculation of the carcinogenic risk. The other substances are classified as non-carcinogenic, having a reference dose (RfD). As it is the only carcinogen, atrazine can be considered the most toxic SQI among those analyzed. However, no carcinogenic risk was found by dermal contact or ingestion in either of the two scenarios related to the application of atrazine. Also, no non-carcinogenic risk was found by dermal contact or ingestion in any of the scenarios. Regarding the exposure route of soil particle inhalation, a carcinogenic risk was found for atrazine in all municipalities in the two analyzed scenarios. In the single application of non-carcinogenic substances, a health risk related to paraquat dichloride was found in all municipalities, except Cristal do Sul. Acephate poses a risk in case of inhalation of soil particles, in the single application scenario, in 72% of the municipalities. Considering non-carcinogenic substances and the multiple application scenario, a risk of inhalation by the SQI of paraquat dichloride was found in 16% of the municipalities. A non-carcinogenic risk was also found in the case of inhalation of particles with acephate, in the scenario of multiple application, in 44% of the municipalities. Considering the total risk, the municipality of Tiradentes do Sul had the highest total non-carcinogenic risk in the first exposure scenario and Novo Tiradentes in the second scenario. Vista Gaúcha had the highest total carcinogenic risk. Comparing the results obtained in the two scenarios of exposure to chemical substances evaluated in this study, the second scenario presents the lowest risk of damage to human health, and all municipalities have non-carcinogenic and carcinogenic risk for human health.

Keywords: Agriculture. Exposure. Ingestion. Carcinogenicity.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Classificação toxicológica dos agrotóxicos de acordo com a toxicidade aguda .	20
FIGURA 2 - Ciclo de agrotóxicos no ambiente	27
FIGURA 3 - Condições necessárias para ocorrência do risco.....	29
FIGURA 4 - Fluxograma de atividades desenvolvidas para a Avaliação de Risco à Saúde Humana do trabalhador rural, decorrente do uso de agrotóxico durante a prática agrícola.....	32
FIGURA 5 - Municípios pertencentes a região noroeste do Estado do Rio Grande do Sul objeto do estudo de avaliação de risco à saúde humana do trabalhador rural.	33
FIGURA 6 - Modelo conceitual de exposição e via de ingresso selecionados para a avaliação de risco à saúde humana do trabalhador rural de municípios do noroeste do estado do Rio Grande do Sul devido ao uso de agrotóxicos no desenvolvimento da atividade agrícola.	44
FIGURA 7 - Estimativa das concentrações de glifosato em solo considerando a comercialização de 2018. Cenário I (aplicação única).	55
FIGURA 8 - Estimativa das concentrações de dicloreto de paraquate em solo considerando a comercialização de 2018. Cenário I (aplicação única).	56
FIGURA 9 - Estimativa das concentrações de atrazina em solo considerando a comercialização de 2018. Cenário I (aplicação única)	57
FIGURA 10 - Estimativa das concentrações de mancozebe em solo considerando a comercialização de 2018. Cenário I (aplicação única)	57
FIGURA 11 - Estimativa das concentrações de 2,4-D em solo considerando a comercialização de 2018. Cenário I (aplicação única).....	58
FIGURA 12 - Estimativa das concentrações de acefato em solo considerando a comercialização de 2018. Cenário I (aplicação única).....	59
FIGURA 13 – Risco não carcinogênico à saúde humana do trabalhador rural, no ambiente de trabalho e limite de risco estipulado para as SQI, considerando o cenário de exposição de inalação (Cenário I - Aplicação única).....	64
FIGURA 14 - Concentrações de glifosato em solo superficial agrícola por aplicação, considerando múltiplas aplicações (Cenário II).....	68
FIGURA 15 - Concentrações de dicloreto de paraquate em solo superficial agrícola por aplicação, considerando múltiplas aplicações (Cenário II).....	69

FIGURA 16 - Concentrações de mancozebe em solo superficial agrícola por aplicação, considerando múltiplas aplicações (Cenário II).	69
FIGURA 17 - Concentrações de acefato em solo superficial agrícola por aplicação, considerando múltiplas aplicações (Cenário II).	70
FIGURA 18 - Risco não carcinogênico à saúde humana do trabalhador rural, no ambiente de trabalho e limite de risco estipulado para as SQI considerando o cenário de exposição de inalação (Cenário II – múltiplas aplicações).....	75

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Área plantada x Área de silvicultura em 2018, em municípios do Noroeste Rio-Grandense.....	333
TABELA 2 - Área plantada com soja, milho, fumo, trigo, feijão (em grão), mandioca, aveia e cana de açúcar de município do noroeste do Rio Grande do Sul.	336
TABELA 3 - Agrotóxicos indicado na bula das substâncias (SQI), para uso nas principais culturas plantadas (em 2018) nos municípios do noroeste do Rio Grande do Sul..	339
TABELA 4 - Área por município em que são aplicados os agrotóxicos (SQI) estudados, considerando uma única aplicação.....	40
TABELA 5 - Tipo de solo predominante nos municípios do noroeste do Rio Grande do Sul...	42
TABELA 6 - Parâmetros de exposição utilizados para cálculo de ingresso de substâncias selecionadas para a avaliação de risco à saúde humana do trabalhador rural em municípios do noroeste do estado do Rio Grande do Sul....	46
TABELA 7 - Lista de ingredientes ativos de grande consumo no Brasil com autorização de uso pela ANVISA, sua classificação referente a carcinogenicidade e a relação que cada um pode ter um o câncer....	52
TABELA 8 - Parâmetros toxicológicos das SQI selecionadas para cálculo de análise de risco a saúde humana em municípios do noroeste do Rio Grande do Sul.....	52
TABELA 9 - Concentração da SQI no solo superficial considerando aplicação única do produto (Cenário I) em mg por kg de solo.....	54
TABELA 10 - Risco à saúde humana do trabalhador rural no ambiente de trabalho, por contato dérmico com solo contendo agrotóxico, considerando a aplicação única do produto (Cenário I).....	60
TABELA 11 - Risco à saúde humana do trabalhador rural no ambiente de trabalho, por ingestão de solo contendo agrotóxico, considerando a aplicação única do produto (Cenário I).....	61
TABELA 12 - Risco à saúde humana do trabalhador rural no ambiente de trabalho, por inalação de solo contendo agrotóxico, considerando a aplicação única do produto (Cenário I).....	62

TABELA 13 - Risco à saúde do trabalhador rural, combinando múltiplas SQI e múltiplos cenários de exposição (contato dérmico, ingestão e inalação), por município, para o Cenário I (aplicação em dose única).....	65
TABELA 14 - R Concentração das SQI em solo superficial considerando a quantidade do agrotóxico utilizada em cada aplicação segundo recomendação da respectiva bula – Cenário II (múltiplas aplicações).....	67
TABELA 15 - Risco à saúde do trabalhador rural pela presença de agrotóxicos no solo considerando o cenário de exposição de contato dérmico – Cenário II (múltiplas aplicações).....	71
TABELA 16 - Risco à saúde do trabalhador rural pela presença de agrotóxicos no solo considerando o cenário de exposição de ingestão – Cenário II (múltiplas aplicações).....	72
TABELA 17 - Risco à saúde do trabalhador rural pela presença de agrotóxicos no solo considerando o cenário de exposição de inalação – Cenário II (múltiplas aplicações).....	74
TABELA 18 - Risco à saúde do trabalhador rural, combinando múltiplas SQI e múltiplos cenários de exposição (contato dérmico, ingestão e inalação), por município, para o Cenário II (múltiplas aplicações).....	76

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - Quantidade de agrotóxicos utilizados por município na região Noroeste do RS, no ano de 2018 (em L/ano ou kg/ano).	38
QUADRO 2 - Número máximo de aplicação recomendado para as principais SQI (agrotóxicos) que são aplicados nas culturas de soja, milho, fumo, trigo feijão aveia e cana de açúcar, de acordo com as bulas	41
QUADRO 3 – Cenários analisados, rotas de exposição e receptor selecionado para análise de exposição das SQI analisadas nos municípios do Noroeste do Rio Grande do Sul.	50

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
DP	Doença de Parkinson
EPA	Environmental Protection Agency
EPI	Equipamento de Proteção Individual
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
HPAs	hidrocarbonetos policíclicos aromáticos
IARC	International Agency for Research on Cancer
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INCA	Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes da Silva
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MCE	Modelo Conceitual de Exposição
NBR	Norma Brasileira
OIT	Organização Internacional do Trabalho
OMS	Organização Mundial da Saúde
OPAS	Organização Pan-Americana da Saúde
PDE	Ponto de Exposição
PND	Plano Nacional do Desenvolvimento
RDC	Resolução da Diretoria Colegiada
RfD	Dose de Referência
RS	Rio Grande do Sul
SF	Fator de Carcinogenicidade
SQI	Sustância Química de Interesse
USEPA	United States Environmental Protection Agency

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 OBJETIVOS	18
1.1.1 Objetivo Geral	18
1.1.2 Objetivos específicos	18
2 REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1 AGROTÓXICOS.....	18
2.1.1 Glifosato	21
2.1.2 Dicloreto de Paraquate (Paraquat)	22
2.1.3 Atrazina	22
2.1.4 Mancozebe	23
2.1.5 2,4-D	24
2.1.6 Acefato	25
2.2 PRINCIPAIS DOENÇAS ASSOCIADAS AO USO DESSAS SUBSTÂNCIAS EM ÁREAS AGRÍCOLAS	25
2.3 VIAS DE EXPOSIÇÃO DO TRABALHADOR RURAL ÀS SUBSTÂNCIAS	27
2.4 AVALIAÇÃO DE RISCO	28
2.4.1 Risco	28
2.4.3 Estudos sobre Avaliação De Risco	30
3 METODOLOGIA	31
3.1 AREA DE ESTUDO	32
3.2 AVALIAÇÃO DE EXPOSIÇÃO	34
3.2.1 Caracterização dos cenários de exposição	35
3.2.2 Substâncias químicas de interesse (SQI)	35
3.2.2.1 Seleção das principais culturas e utilização dos agrotóxicos no Noroeste do RS.	36
3.2.2.2 Cálculo de concentração das SQI.	39
3.2.3 Modelo conceitual de exposição (MCE)	43
3.2.4 Quantificação do ingresso.	44
3.2.4.1 Quantificação do Ingresso (<i>In</i>).	44
3.3 ANÁLISE DE TOXICIDADE	46
3.4 CARACTERIZAÇÃO DO RISCO	47
3.4.1 Quantificação de risco para efeitos carcinogênicos.	47

3.4.2 Quantificação de risco para efeitos não carcinogênicos.	48
3.5 ANÁLISES DE INCERTEZAS.	50
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	50
4.1 VIAS DE EXPOSIÇÃO, RECEPTORES E CENÁRIOS DE EXPOSIÇÃO.....	50
4.2 CARACTERIZAÇÃO TOXICOLÓGICA DAS SQL.	51
4.3 CARACTERIZAÇÃO DO RISCO.	53
4.3.1 Risco de contaminação com aplicação única no solo.....	54
4.3.1.1 Quantificação de risco com aplicação única.....	59
4.3.2 Risco de contaminação com múltiplas aplicações no solo (Cenário II).	66
4.3.2.1 Quantificação de risco para o Cenário II (múltiplas aplicações).....	70
4.4 RELAÇÃO DO RISCO COM O USO DO SOLO NA REGIÃO.....	77
4.5 ANÁLISE DE INCERTEZAS.	78
5 CONCLUSÃO.....	79
REFERENCIAS.....	81

1 INTRODUÇÃO

Até a década de 1950, a região Noroeste gaúcha era formada basicamente por áreas de mata com alguns espaços de campo, as áreas de mata eram destinadas à atividade agrícola em função da sua fertilidade natural, enquanto as áreas de campo eram menos férteis, destinando-se à exploração da pecuária extensiva (BANDEIRA, 2013). A partir do final da Segunda Guerra Mundial, e após vários períodos de crise, a agricultura brasileira iniciou um processo de modernização irreversível, na busca do aumento da produção agrícola com redução de custos (BANDEIRA, 2013).

O elevado crescimento demográfico das últimas décadas forçou o aumento expressivo da produção de alimentos e a grande utilização de defensivos agrícolas, visando alto índice de produção (MELLO et al., 2019) e, desde a década de 70, muitas políticas públicas vem incentivando a aquisição desses agrotóxicos, potencializando a expansão de áreas com o uso indiscriminado desses químicos (MELLO et al., 2019; SANTOS, 2021.a)

Estima-se que a pulverização de agrotóxicos seja de aproximadamente 900 milhões de litros por ano no Brasil, e que 76,00% desse consumo esteja concentrado nos cultivos de exportação de soja, milho e cana-de-açúcar (PIGNATI et al., 2017).

Estudos apontam que os agrotóxicos agrícolas são os mais tóxicos, ou seja, os que mais geram envenenamentos e mortes em seres vivos, e uma parcela considerável desses produtos são proibidos na União Europeia, mas continuam sendo utilizados no Brasil, mesmo comprovado cientificamente seus danos para a saúde e meio ambiente (BOCHNER, 2007; CARNEIRO et al., 2015; MOSTAFALOU; ABDOLLAHI, 2017).

Entre os muitos impactos ocasionados pelos agrotóxicos à saúde humana, pode-se citar as intoxicações exógenas (WHO, 2018). Globalmente, as intoxicações são consideradas um significativo problema de saúde pública, devido aos gastos, anos perdidos de vida e número de óbitos (WHO, 2018). Os sintomas de intoxicação aguda por agrotóxicos podem ocorrer em até 48 horas com sinais de náuseas, tonturas, vômitos, desorientação, dificuldade respiratória, sudorese, salivação excessiva, diarreia, podendo chegar até coma e morte sendo que, o efeito vai depender da quantidade e toxicidade de veneno absorvido pela pele, via respiratória e/ou digestiva podendo ocorrer de forma leve, moderada ou grave (LARA et al., 2019).

De uma forma geral, o local mais propício para intoxicação por agrotóxicos é onde se tem área com elevada produção agrícola e, conseqüentemente elevada utilização dessas substâncias, porém, eles também estão presentes nos alimentos, causando assim impactos em larga escala para a saúde da população que ingere essas substâncias.

O Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul apresenta intensa atividade agrícola, seja em lavouras, pecuária ou lavouras temporárias, que são desenvolvidas, majoritariamente, pela agricultura familiar (73,00%) e conforme Santos et al. (2021b), nessa região têm ocorrido intoxicações agudas e crônicas sendo que a classe de agrotóxicos mais utilizadas envolvendo intoxicações são os herbicidas, os inseticidas e os fungicidas.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar o risco à saúde humana causado pela utilização de agrotóxicos em 25 municípios do Noroeste do Rio Grande do Sul.

1.1.2 Objetivos específicos

1. Indicar as principais vias de exposição dos trabalhadores rurais em relação aos seis agrotóxicos mais utilizados nas áreas agrícolas desses municípios.
2. Quantificar a toxicidade dos agrotóxicos mais utilizados e identificar os mais tóxicos de cada município.
3. Quantificar o risco a saúde humana em relação às Substâncias Químicas de Interesse (SQI) estudadas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 AGROTÓXICOS

Os agrotóxicos, também conhecidos como pesticidas, biocidas, defensivos agrícolas, agroquímicos e praguicidas são produtos químicos sintéticos utilizados na agricultura para eliminar insetos, plantas daninhas e fungos, que possam prejudicar a produção agrícola (INCA, 2021). Na agricultura convencional, esses produtos desempenham um papel fundamental para alcançar e manter altos níveis de produtividade e lucratividade agrícola (ESPINOZA, 2014).

Ao mesmo tempo em que o seu uso traz muitos benefícios para a agricultura, aumentando a produtividade, eles podem ser altamente tóxicos para diferentes formas de vida, devido à alta persistência nos ambientes onde são aplicados (VERMA; BHARDWAJ, 2015).

O uso de agrotóxicos no Brasil surgiu na década de 70, por meio do Plano Nacional do Desenvolvimento (PND), que teve por objetivo promover o desenvolvimento social em um determinado território, além de incentivar os agricultores a adquirir uma cota definida de agrotóxicos para a aquisição de crédito rural, o que levou ao aumento exagerado de uso, contribuindo para a diminuição de práticas alternativas e ecologicamente benéficas de manejo de pragas (JOBIM et al, 2007). Desde o ano de 2008, o Brasil está entre os maiores consumidores de agrotóxicos do mundo (CARNEIRO et al., 2015).

De acordo com Peixoto (2007), existem três tipos principais de pesticidas classificados segundo a finalidade de uso, sendo eles os fungicidas, utilizados para destruir ou inibir a ação de fungos que atacam as plantas; os herbicidas, utilizados para o controle de ervas daninhas que se inserem nas plantações; e os inseticidas, utilizados para eliminar insetos em geral, com ação expandida para larvas e ovos principalmente. Eles ainda podem ser classificados quanto a origem (orgânicos ou inorgânicos), por grupo químico (organoclorados, organofosforados, carbamatos, triazinas, piretróides, cloroacetamidas, neonicotinóides, organossulfurados, fenilpirazóis, juvenóides e anti-hj) e quanto a toxicidade (PAVANI, 2016).

A classificação toxicológica dos agrotóxicos para fins de bula e rotulagem é baseada no grau de toxicidade aguda dessas substâncias, definida pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) por meio da Resolução da Diretoria Colegiada - RDC nº 294, de 29 de julho de 2019 (BRASIL, 2019b) em cinco categorias além da inclusão do item “não classificado”, válido para produtos de baixíssimo potencial de dano (Figura 1).

Figura 1 - Classificação toxicológica dos agrotóxicos de acordo com a toxicidade aguda

	CATEGORIA 1	CATEGORIA 2	CATEGORIA 3	CATEGORIA 4	CATEGORIA 5	NÃO CLASSIFICADO
	EXTREMAMENTE TÓXICO	ALTAMENTE TÓXICO	MODERADAMENTE TÓXICO	POUCO TÓXICO	IMPROVÁVEL CAUSAR DANO AGUDO	NÃO CLASSIFICADO
PICTOGRAMA					Sem símbolo	Sem símbolo
PALAVRA DE ADVERTÊNCIA	PERIGO	PERIGO	PERIGO	CUIDADO	CUIDADO	Sem advertência
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

Fonte: INCA (2019).

A exposição aos agrotóxicos pode gerar efeitos crônicos, decorrentes da longa exposição a baixas doses das substâncias, porém, é importante salientar que esses efeitos são considerados nos critérios de classificação de toxicidade para fins de registro e reavaliação (INCA, 2021). Existem diferenças significativas entre a classificação realizada no Brasil e a classificação internacional em relação a alguns agrotóxicos, como por exemplo o glifosato, que é classificado pela Anvisa como pouco tóxico - Classe IV, mas é considerado possível carcinogênico para seres humanos (Grupo 2B) pela International Agency for Research on Cancer (IARC) (IARC, 2018).

Em 2019 o ministério da agricultura aprovou no Brasil o registro de agrotóxicos com elevada toxicidade, a partir do qual foram registrados cerca de 450 agrotóxicos sendo que desses, apenas 42 apresentam baixa toxicidade (PINHO, 2019). Além disso, a ANVISA manifestou que agrotóxicos banidos em países como China, Estados Unidos e países da União Europeia atualmente tem como principal destino o Brasil, que utiliza pelo menos dez produtos banidos nesses países (PINHO, 2019).

A região noroeste do Rio Grande do Sul tem predomínio de uso da terra para o desenvolvimento de atividades agrícolas, destacando-se o uso dos agrotóxicos glifosato, dicloreto de paraquate, atrazina, mancozebe, 2,4-D e acefato, segundo dados de 2018 da Secretaria de Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento Rural do Rio Grande do Sul (SANTOS, 2021a). Descrevem-se, a seguir, as principais características de cada um deles.

2.1.1 Glifosato

Número do CAS: 1071-83-6

O glifosato é um herbicida não-seletivo, sistêmico e pós-emergente. É o herbicida mais vendido em todo o planeta visto que, e suas vendas representam em torno de 60% das vendas de herbicidas no mundo (AMARAL, 2009). Entre os produtos fitossanitários, o glifosato é considerado um produto biologicamente seguro devido à baixa toxicidade e rápida degradação (CERDEIRA; DUKE, 2006).

Devido à baixa toxicidade desse produto existem muitos estudos que defendem seu uso em larga escala, dizendo que é seguro e que os resíduos são mínimos não havendo evidências que podem fazer mal à saúde, porém, em contrapartida, cada vez aparecem mais trabalhos científicos relacionando o uso de agrotóxicos com doenças como câncer, má formação congênitas, mal de Parkinson, depressão, suicídios, diminuição da capacidade de aprendizagem em crianças, ataques cardíacos, problemas mentais e outros de ordem comportamentais (MATA; FERREIRA, 2013).

Estudos mostram, também, que não existe limite diário aceitável de ingestão dessas substâncias na legislação, que deixa uma incógnita sobre o limite diário aceitável de ingestão desses produtos (MATA; FERREIRA, 2013).

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), a toxicidade aguda do glifosato é considerada baixa, com uma DL50 oral do princípio ativo puro, porém, a DL50 é estabelecida a partir de estudos de toxicidade aguda, não indicando os riscos de doenças de evolução prolongada como, por exemplo, câncer, neuropatias, hepatopatias, problemas respiratórios crônicos ou outras (FARIA, 2013).

Em contrapartida, grande quantidade de estudos tem indicado que o glifosato é um disruptor do sistema endócrino humano, que tem potencial genotóxico, alérgico e de problemas no fígado (CURWIN et al., 2002; FARIA; ROSA; FACCHINI, 2009; SOLOMON; MARSHALL; CARRASQUILLA, 2009; BELO et al., 2012).

Conforme a bula do glifosato (NORTOX, 2022a), o produto é indicado para uso nas culturas de café, citros, cana-de-açúcar, algodão, arroz, milho, soja, pinus, eucalipto, pastagens, trigo, ameixa, banana, cacau, maçã, nectarina, pera, pêssego e uva. Entre estas, as culturas mais comuns na região Noroeste do Rio Grande do Sul são a soja, milho, o trigo e a cana-de-açúcar. Segundo a bula, para essas culturas é indicada apenas uma aplicação do produto em toda a área, porém, comumente o produto muitas vezes é utilizado em duas aplicações sendo uma antes do plantio e uma depois da área plantada (NORTOX, 2022a).

2.1.2 Dicloreto de Paraquate (Paraquat)

Número do CAS: 1910-42-5

O paraquat (1,1'-dimetil-4,4'-bipiridina-dicloreto), utilizado desde os anos 60, devido ao seu baixo preço e eficácia é um dos herbicidas agrícolas mais usados em todo o mundo, sendo comercializado sob diferentes nomes e formulações (SOUZA, 2021).

Segundo pesquisas de Lu et al. (2017), o paraquat se usado incorretamente ou ingerido por via oral é altamente tóxico para os humanos. Entre os herbicidas disponíveis no mercado, o paraquat se destaca como o que possui a maior taxa de intoxicações e fatalidades quando ingerido acidental ou intencionalmente sendo que, as tentativas de suicídio com a utilização desse herbicida são um problema sério devido à sua elevada toxicidade (SOUZA, 2021).

Segundo a ANVISA, os riscos decorrentes da utilização do produto poderiam ser a mutagenicidade e a doença de Parkinson porém, esses riscos restringem-se aos trabalhadores que manipulam o produto, sendo que a população em geral não está suscetível à exposição pelo consumo de alimentos (BRASIL, 2017).

Em 2017, por meio da RDC nº 177 (BRASIL, 2017), a ANVISA resolveu banir o paraquat, concedendo três anos de prazo para a transição. Esse prazo encerrou em 30 de março de 2021. O prazo estipulado foi uma forma de minimizar os impactos econômicos e agrônômicos que poderiam ser ocasionados por essa medida, considerando, principalmente, a alta eficiência do produto e o seu baixo custo.

Quando esse prazo estava encerrando, a ANVISA, por meio da RDC nº 428/2020, de 7 de outubro de 2020 (BRASIL, 2020), criou um calendário específico para aplicação e autorizou o uso do paraquat em estoque para a safra 2020/2021, sendo que este último prazo se encerrou em 30 de abril de 2021.

Quando era permitido sua utilização, o paraquat poderia ser aplicado em culturas de algodão, arroz, banana, batata café, cana-de-açúcar, citros, feijão, maçã, milho, soja, trigo e soja (ALTA, 2019). Em relação a quantidade de vezes que o produto poderia ser aplicado, na sua bula consta que eram feitas no máximo duas aplicações do produto (ALTA, 2019).

2.1.3 Atrazina

Número do CAS: 1912-24-9

A atrazina pertence à classe das trazinas e, assim como os anteriores, é um herbicida muito utilizado no mundo, porém os efeitos deste herbicida em organismos em níveis

moleculares ainda não são muito bem conhecidos, principalmente em espécies aquáticas (MENDONÇA, 2015).

Muito utilizado para o controle de alguns cultivos como abacaxi, cana-de-açúcar, milho, pinus e seringueira, a atrazina foi utilizada por muitos anos em todos os continentes, porém desde 1993, o uso dessa substância foi restrito nos Estados Unidos devido a estudos que constataram riscos de efeitos tóxicos em água para consumo humano causando assim uma baixa comercialização desse produto na Europa (COUTINHO et al., 2005, MENDONÇA, 2015).

Ainda, devido à contaminação de águas subterrâneas e superficiais e à comprovação de que a atrazina provoca distúrbios endócrinos em peixes e anfíbios, ela foi banida na Alemanha, Áustria, Dinamarca, Eslovênia, Itália e em toda a União Europeia (SALABERRIA et al., 2009). O seu uso continua em países produtores de grãos, como o Brasil e a Argentina (SALABERRIA et al., 2009).

Para a ANVISA, a atrazina é classificada como classe III de toxicidade, assim sendo considerada medianamente tóxica (BRASIL, 2019a). A exposição a esse agrotóxico, pode ocasionar efeitos de irritação da pele, falta de ar, espasmos musculares e problemas genéticos; e a sua ingestão, por muitos anos e em grandes concentrações, pode acarretar problemas cardiovasculares e dificuldades reprodutivas (USEPA, 2022).

A atrazina é aplicada principalmente nas culturas de cana-de-açúcar, milho e sorgo e sua aplicação deve ser feita apenas uma vez, sem repetições (NORTOX, 2021).

2.1.4 Mancozebe

Número do CAS: 8018-01-7

O mancozebe é um fungicida que pertence ao grupo dos etilenobisditiocarbomatos (EBD's) e é um dos pesticidas mais utilizados pelos agricultores, devido a sua baixa toxicidade aguda (JACINTO, 2015). É utilizado desde 1967 na agricultura para proteger as frutas, os vegetais e outras culturas das doenças fúngicas, sendo por isso denominado como fungicida (ARMENTA et al., 2005; PEREIRA et al., 2014; ROHIT et al., 2014; SILVA et al., 2014;).

As formulações que contém manconzeb, em caso de exposição dérmica, pode causar irritação da pele, prurido, eritema, dermatite de contato, dermatite alérgica, sensibilização cutânea, rash cutâneo e eczema; e quando ocorre exposição por via respiratória há risco de causar irritação e inflamação das vias aéreas (rinite, faringite, laringite e traqueobronquite), fadiga, cefaléia, visão borrada e náuseas (ALVES, 2017).

Em caso de exposição ocular, pode causar ardência ocular, conjuntivite e inflamação das pálpebras, e a exposição oral pode causar irritação da mucosa do trato gastrointestinal, cefaléia, dores abdominais, diarreia, náuseas e vômitos (ALVES, 2017). Além disso, altas exposições por períodos longos podem causar convulsões e coma (ALVES, 2017).

O mancozebe pode ser utilizado nas culturas de algodão, amendoim, arroz, aveia, banana, batata, cevada, centeio, ervilha, feijão, fumo, milheto, milho, soja, sorgo, tomate, trigo, triticale, caju, caqui, carambola, mangaba, citros, figo, goiaba, maçã e uva (CCAB AGRO, 2022). Em relação a quantidade de aplicações, essa varia entre três e quatro aplicações, dependendo da cultura em que o produto for aplicado (CCAB AGRO, 2022). A ANVISA classifica esse fungicida como classe III, ou seja, mediamente tóxico (BRASIL, 2019a).

2.1.5 2,4-D

Número do CAS: 94-75-7

O 2,4-D (ácido diclorofenoxiacético), é um regulador do crescimento que faz parte dos herbicidas da classe dos ácidos fenoxiacéticos, sendo comercializado como sais, amina e éster, com elevado peso molecular e baixa volatilidade (AGUILAR, 2017).

No Brasil, segundo o relatório do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), seu uso foi registrado para controlar as ervas daninhas apenas em culturas de arroz, aveia, café, cana-de açúcar, milho, pastagens, soja, sorgo e trigo (MAPA, 2017).

De acordo com a classificação toxicológica da ANVISA (BRASIL, 2019a), o 2,4-D é um herbicida de classe I, ou seja, é um produto extremamente tóxico. Já a Environmental Protection Agency (EPA) (EPA, 2005), diz que, de maneira geral, para exposições por via oral, dérmica e respiratória, tem baixa toxicidade aguda, sendo de classe III ou IV, dependendo da composição, porém sua forma ácida e seu sal são categorizados como classe I, por serem altamente irritantes para os olhos.

Os modos de utilização que são indicados para o ingrediente ativo do herbicida 2,4-D permitem que ele possa estar presente na água, ar e solo, podendo contaminar diretamente as pessoas que estão próximas da área onde este é pulverizado (FRIEDRICH, 2014). O 2,4-D pode ser utilizado nas culturas de arroz, cana-de-açúcar, milheto, milho, arroz irrigado, café, duboisia, aveia, centeio, cevada, sorgo, trigo, triticale, soja e pastagens (NORTOX, 2022b). Sobre a quantidade de aplicações, é indicado que seja realizada apenas uma aplicação do produto (NORTOX, 2022b).

2.1.6 Acefato

Número do CAS: 30560-19-1

O inseticida acefato é um dos agrotóxicos mais utilizados nas lavouras brasileiras e pertence à família dos organofosforados que são compostos formados por ésteres de ácido fosfórico, possuindo variações com oxigênio, carbono e enxofre ou nitrogênio (MANGAS et al., 2016).

Conforme a bula do acefato (NORTOX, 2022c), o produto é indicado para uso nas culturas de algodão, feijão, milho, soja e tomate industrial. Segundo a bula, para as culturas de algodão, milho e soja é indicado que sejam realizadas apenas duas aplicações, enquanto que para o tomate industrial são três aplicações e para a cultura do feijão apenas uma aplicação (NORTOX, 2022c).

A sua classificação toxicológica, segundo normativa da ANVISA, é classe III - moderadamente tóxico (BRASIL, 2019a).

2.2 PRINCIPAIS DOENÇAS ASSOCIADAS AO USO DESSAS SUBSTÂNCIAS EM ÁREAS AGRÍCOLAS

A Organização Internacional do Trabalho/Organização Mundial de Saúde (OIT/OMS) estima que, na década passada, entre os trabalhadores de países em desenvolvimento, os agrotóxicos causaram, aproximadamente 70 mil intoxicações agudas e crônicas por ano que evoluíram para óbito e, pelo menos, 7 milhões de doenças agudas e crônicas não fatais (GARCIA, 1998).

Segundo o Relatório Nacional de Vigilância em Saúde de Populações Expostas a Agrotóxicos do ano de 2018, entre 2007 e 2015 foi observado um aumento crescente do número de notificações por intoxicação por agrotóxicos, possivelmente em decorrência do aumento da comercialização dessas substâncias e da melhoria da atuação da vigilância e da assistência à saúde para identificação, diagnóstico e notificação dos casos (BRASIL, 2018). Além disso, houve um acréscimo de 139% das notificações, destacando-se o ano de 2014 pelo maior número (BRASIL, 2018). A situação é ainda mais grave se consideramos que, segundo estimativas do Ministério da Saúde, para cada evento de intoxicação por agrotóxico notificado, existem outros 50 não notificados (BRASIL, 2018).

A intoxicação por agrotóxicos pode ocorrer por via digestiva, respiratória, dérmica e/ou por contato ocular, ocasionando quadros agudos, subagudos ou crônicos (LONDRES, 2011).

Os grupos mais afetados pelos dados que os venenos agrícolas causam são os trabalhadores da agricultura e da pecuária, que estão expostos aos agrotóxicos desde o preparo do produto, por manipulação direta, até o armazenamento das embalagens após o uso (LONDRES, 2011).

A intoxicação aguda pode ser classificada na forma leve, moderada ou grave, podendo ocorrer em até 48 horas com sintomas de náuseas, tonturas, vômitos, desorientação, dificuldade respiratória, sudorese, salivação excessiva, diarreia, até coma e morte, a depender da quantidade e toxicidade de veneno absorvido pela pele, via respiratória e/ou digestiva (OPAS, 1997; BRASIL, 2006).

Além da aguda, as intoxicações subagudas e crônicas podem aparecer a longo prazo, sendo ocasionadas por repetidas exposições a agrotóxicos com manifestações clínicas inespecíficas, principalmente quando há exposição a diversos produtos, como geralmente é o caso (LARA et al., 2019). Esse fato, comum na agricultura brasileira e mundial, geralmente causa danos irreversíveis, como câncer, malformação, lesões renais, hepáticas, distúrbios endócrinos, neurológicos entre outros (LARA et al., 2019).

Estudos revelam que os organofosforados e carbamatos são agentes causadores de intoxicação no campo e que as intoxicações crônicas ocasionadas por esses e outros tipos de pesticidas, é predominantemente associado a distúrbios psicológicos, como a ansiedade e depressão, sendo esse um grande problema decorrente atualmente (RODRIGUES et al., 2018).

Um fator que merece destaque é o aumento do suicídio rural que, segundo Pires et al. (2005), teve forte correlação com o uso excessivo de agrotóxico na agropecuária e que, em parte, o suicídio foi ocasionado pela ingestão do próprio agente causal da depressão.

Outro mal advindo dos pesticidas é que eles são carcinógenos, significando que são capazes de estimularem o aparecimento de câncer de várias maneiras, entre elas mediante a ruptura de hormônios, danificação do DNA, inflamação dos tecidos e ativação ou desativação de genes (PAN, 2018). Estudos indicam que há uma possível relação entre a exposição à agrotóxicos e a incidência do câncer, corroborando isso, um estudo de revisão avaliou 26 agrotóxicos e encontrou que 18 causaram tumores em pelo menos uma espécie de animal (SILINS et al., 2014).

Costa (2017) realizou um estudo sobre a exposição a agrotóxicos e o risco de desenvolvimento de linfoma não Hodgkin (LNH), que é um tipo de câncer hematológico. Assim, foi realizada uma revisão integrativa para avaliar a associação de agrotóxicos com a indução de LNH e, a pesquisa mostrou que os agrotóxicos ácido diclorofenoxiacético (2,4-D),

diazinona, glifosato e malationa estão associados a essa neoplasia e compartilham alguns mecanismos de carcinogenicidade (COSTA et al., 2017).

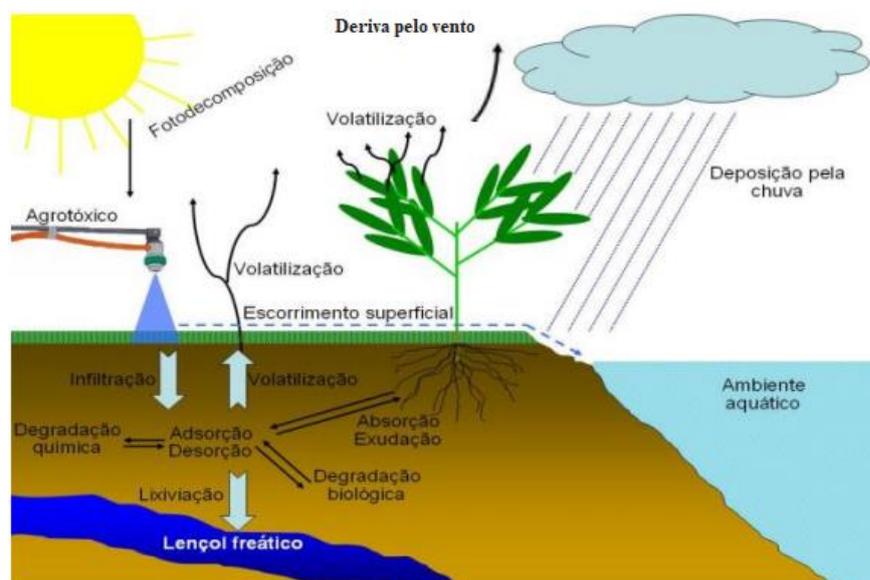
2.3 VIAS DE EXPOSIÇÃO DO TRABALHADOR RURAL ÀS SUBSTÂNCIAS

A exposição aos agrotóxicos tem se configurado um sério problema de saúde pública (PREZA; AUGUSTO, 2012). Peres et al. (2001) relacionam o impacto da contaminação humana por agrotóxicos a fatores socioeconômicos, como o nível educacional, a habilidade de leitura e escrita e a renda familiar.

Qualquer que seja o caminho do agrotóxico no meio ambiente, o homem será seu potencial receptor pelo motivo de que, a maior parte dos agrotóxicos utilizados acaba atingindo o solo e as águas, devido principalmente aos ventos e à água das chuvas que promovem a deriva, a lavagem das folhas tratadas, a lixiviação e a erosão (SILVA et al., 2011).

O solo, depois das plantas, é o principal receptor dessas substâncias químicas, visto que a interação pesticida-solo depende, principalmente, das características físico-químicas tanto do solo quanto do pesticida (MARTINS, 2006). Portanto, o receptor pode ser um organismo, a comunidade, um habitat sensível ou um ecossistema que esteja exposto direta ou indiretamente a um ou mais compostos químicos que estejam associados a um evento de contaminação (ABNT, 2013). No ambiente, o ciclo dos agrotóxicos compreende a sua aplicação no solo, e os caminhos de exposição, em solos, águas superficiais e nas águas subterrâneas (Figura 2).

Figura 2 - Ciclo de agrotóxicos no ambiente.



Fonte: Adaptado de Lavorenti et al. (2003)

No que diz respeito aos organismos do solo, alguns autores (MORAES; ROSSI, 2000; ZILLI et al., 2008) consideram que muitos agrotóxicos, se usados corretamente, não são nocivos, porém, é comum à sua utilização em dosagens acima do permitido o que pode influenciar de forma direta ou indireta na população da macro e microfauna, dependendo das características físicas, químicas e biológicas do solo no qual foi aplicado.

A utilização de agrotóxicos é uma prática comum nas grandes lavouras, porém muitas vezes a presença dessas substâncias tem sido verificada em ambiente aquático, como no caso do ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D), o ácido 2-metil-4-clorofenoxiacético (MCFA), o bensulfuron, o metsulfuron e o pirazosulfuron, utilizados nas lavouras de arroz de riego, em Kedah, Malásia (ISMAIL et al., 2015). No Brasil, muitos agrotóxicos são utilizados em cultivos de arroz, o que pode levar à contaminação do ambiente aquático (BELCHIOR et al., 2017).

O que mais preocupa é a presença de agrotóxicos em ecossistemas aquáticos, porque os organismos que neles vivem podem acumular elevadas concentrações desses químicos a nível trófico e, como peixes e outros organismos aquáticos fazem parte da alimentação humana, o ser humano, que está no topo da cadeia alimentar, também pode ser prejudicado (BELCHIOR et al., 2017).

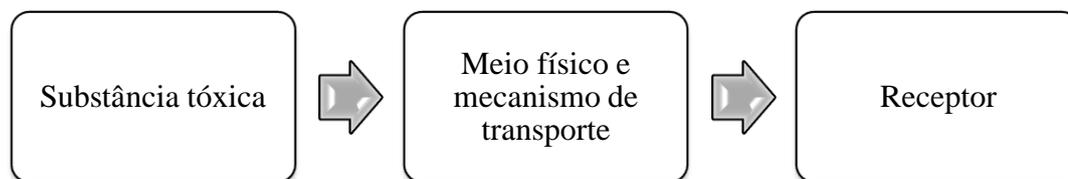
2.4 AVALIAÇÃO DE RISCO

2.4.1 Risco

Segundo Kates e Ksperson (1983) *apud* Finotti (1997), perigo é uma ameaça às pessoas ou ao que elas valorizam como propriedades, meio ambiente, futuras gerações, e o risco é a quantificação do perigo. A relação existente entre a probabilidade de que uma ameaça de evento adverso se concretize com o grau de vulnerabilidade do sistema receptor e seus efeitos é a definição de risco na área ambiental (TAKEUCHI, 2008).

Já no contexto de uma análise à exposição humana, o risco é definido como a probabilidade de ocorrências de um efeito adverso à saúde, como resultado de uma exposição a substâncias tóxicas (TAKEUCHI, 2008). Pode-se dizer que o risco é função da toxicidade e da exposição a um contaminante (Figura 3).

Figura 3 - Condições necessárias para ocorrência do risco



Fonte: Adaptado de Takeuchi (2008).

Avaliação de risco é um processo que avalia a probabilidade dos riscos adversos que podem ocorrer quando há exposição a uma substância química (FONSECA et al. 2008). Os procedimentos que avaliam os riscos são elaborados visando determinar recomendações para eliminação da exposição humana, além de ações de saúde diretamente relacionadas as populações expostas, bem como ações que visem remediação das fontes de emissão (MACHADO, 2016).

As metodologias de avaliação de risco existentes em áreas contaminadas, seguem como guia as orientações da Agência de Proteção Ambiental Americana (USEPA) do ano de 1989 (USEPA, 1989). Segundo essa metodologia, para avaliar e quantificar os riscos devem ser realizadas coletas de dados, avaliação da toxicidade, avaliação da exposição, caracterização e quantificação dos riscos e gerenciamento dos riscos (CETESB, 2001).

No Brasil, a NBR 16.209/2013 (ABNT, 2013) define procedimentos específicos para realizar avaliação de risco à saúde humana aplicada ao gerenciamento ambiental de áreas contaminadas. De acordo com ela, a avaliação de risco objetiva desenvolver um Modelo Conceitual de Exposição (MCE) para a área em estudo, a partir de definições dos cenários de exposição e da quantificação do risco para cada uma das Substâncias químicas de interesse (SQI). As SQI são elementos, substâncias ou produtos químicos considerados de interesse nas etapas do gerenciamento de áreas contaminadas (ABNT, 2013). O modelo conceitual é constituído por uma síntese de informações relativas a área de estudo, onde se é possível visualizar (em texto ou ilustração) a localização da contaminação, a sua forma de propagação e a sua relação com os bens a proteger existentes na área (ABNT, 2013).

Segundo a Norma, o risco à saúde humana associado a áreas contaminadas é a “probabilidade de ocorrência de câncer em um determinado receptor exposto a contaminantes

presentes em uma área contaminada ou possibilidade de ocorrência de outros efeitos adversos à saúde decorrentes da exposição a substâncias não carcinogênicas” (ABNT, 2013). Dessa forma, avalia-se o risco carcinogênico e não carcinogênico.

2.4.3 Estudos sobre avaliação de risco

Um estudo realizado por Nascimento (2015) objetivou a identificação do risco à saúde humana em Adrianópolis (PR) utilizando duas ferramentas de avaliação de risco (software RBCA e Planilhas CETESB). As análises foram realizadas com dados de água superficial, solo superficial e pilhas de rejeito e demonstraram a existência de risco à saúde humana em virtude da contaminação ambiental no município.

A situação mais alarmante encontrada por Nascimento (2015) foi a ingestão de solo contaminado por chumbo, onde apresentou risco carcinogênico no cenário estimado para trabalhadores de obra e para trabalhadores industriais em solos contaminados nos arredores de uma usina. Além disso, dentro da caracterização dos trabalhadores de obra está o trabalhador de regiões agrícolas que ao lidar com a terra em suas atividades está sujeito a ingestão de solo contaminado visto que, a atividade agrícola é amplamente executada na região do estudo (NASCIMENTO, 2015).

Pinto (2017) realizou sua pesquisa de avaliação de risco à saúde humana dos funcionários de um posto de combustível e moradores da comunidade vizinha à possível área contaminada por hidrocarbonetos derivados de petróleo. O resultado dessa avaliação indica risco de inalação de solo superficial da substância Etilbenzeno em ambientes fechados, tendo como receptor do risco os funcionários do restaurante, lanchonete, manutenção e do setor administrativo (PINTO, 2017).

Hacon (2016) realizou sua pesquisa sobre avaliação de risco à saúde humana a partir de um estudo de caso de uma área contaminada com hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA), considerando a exposição de futuros trabalhadores da área. Com os resultados encontrados, concluiu-se que a contaminação por HPA observada no estudo de caso apresentado pode resultar em riscos à saúde dos futuros trabalhadores que ocuparão a área. Também, com os resultados, ficou claro que, a rota de exposição mais crítica para a saúde humana no estudo de caso foi a inalação de vapores em ambientes fechados (HACON, 2016).

Cerbaro et al. (2021), investigaram a existência de risco e sua quantificação em casos de vazamentos de derivados do petróleo em uma refinaria localizada na Região Sudeste do Brasil. Para a realização do estudo, foram consideradas as vias de exposição por inalação aos

contaminantes presentes no solo subsuperficial e água subterrânea contaminados por hidrocarbonetos de petróleo e outras substâncias em consequência do funcionamento de uma refinaria (CERBARO et al., 2021).

Como resultado desse estudo, Cerbaro et al. (2021) chegaram à conclusão de que para a exposição a água subterrânea contaminada, não houve efeito carcinogênico e não carcinogênico para os compostos analisados por meio da via de inalação. Em relação a exposição do solo subsuperficial contaminado, verificou-se que todos os elementos detectados apresentaram riscos carcinogênicos para ambas as condições analisadas (ambiente aberto e fechado) e ambos os receptores (trabalhadores e comercial) (CERBARO et al., 2021).

3 METODOLOGIA

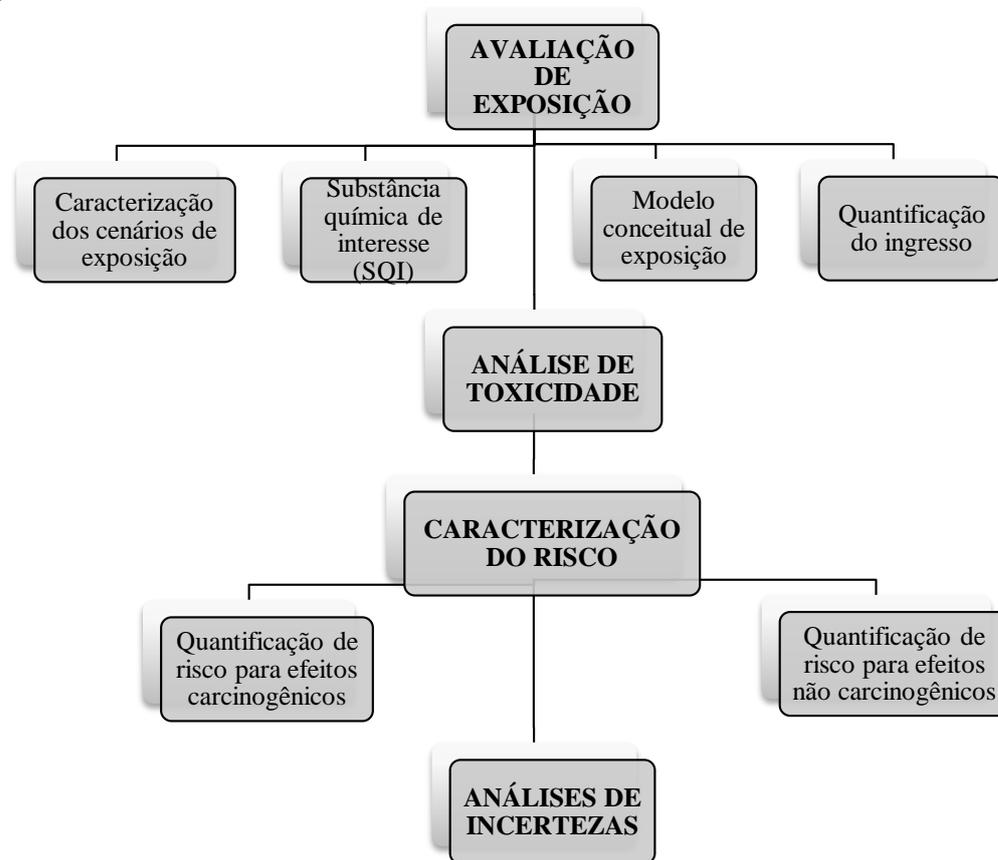
Para a realização deste trabalho foi utilizada a metodologia de “Avaliação de riscos à saúde humana para fins de gerenciamento de áreas contaminadas”, indicada pela NBR 16.209/2013 (ABNT, 2013).

Para realizar a análise de risco, inicialmente foi avaliada a exposição, que é a determinação ou estimativa (qualitativa ou quantitativa) da magnitude, frequência, duração e o caminho de exposição (ABNT, 2013). Sendo considerado como caminho de exposição a trajetória que as substâncias químicas de interesse percorrem desde a área fonte de contaminação até o receptor e inclui uma fonte ou vazamento de uma fonte, um ponto de exposição e uma rota de exposição (ASTM, 1995).

A avaliação de exposição foi realizada a partir do desenvolvimento das seguintes etapas: 1) caracterização dos cenários de exposição; 2) determinação das SQI; 3) elaboração do modelo conceitual de exposição; e 4) quantificação do ingresso. Na sequência foi realizada a análise de toxicidade de cada SQI indicada. Também foi efetuada a caracterização do risco, com a quantificação de riscos para efeitos carcinogênicos e não carcinogênicos de cada SQI. Finalmente, foi realizada a análise de incerteza, que identifica qualquer incerteza que tenha ocorrido durante o processo de avaliação de risco.

Essas etapas se encontram ilustradas no fluxograma apresentado na Figura 4 e estão detalhadas a seguir.

Figura 4 - Fluxograma de atividades desenvolvidas para a Avaliação de Risco à Saúde Humana do trabalhador rural, decorrente do uso de agrotóxico durante a prática agrícola

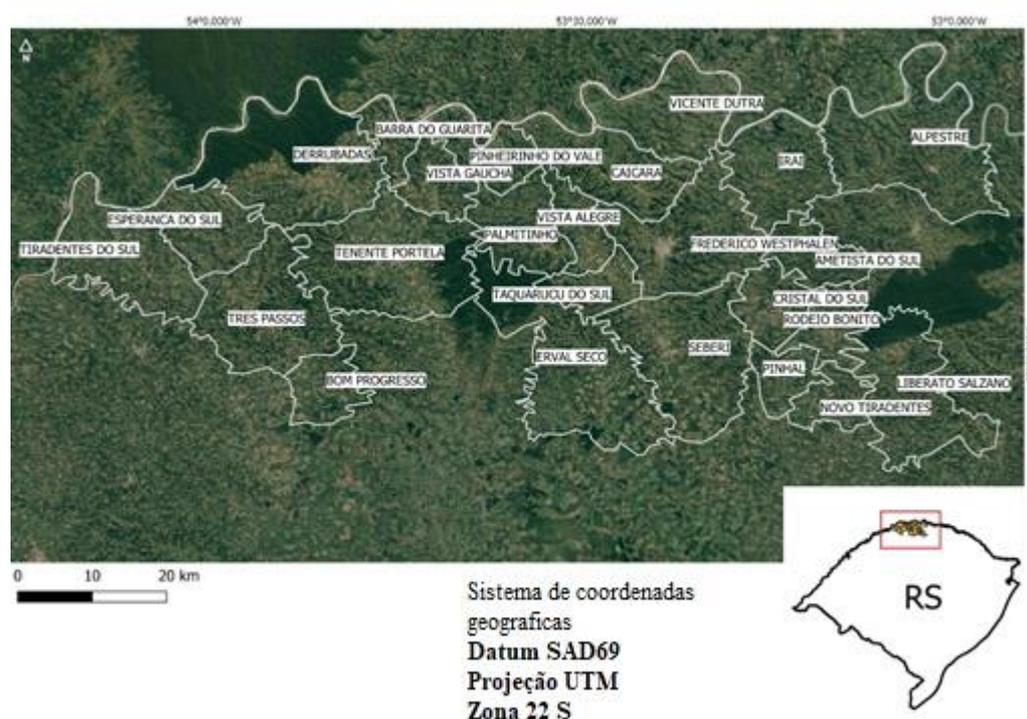


Fonte: Adaptado de ABNT (2013).

3.1 AREA DE ESTUDO

A área de estudo abrange 25 municípios da região Noroeste do Rio Grande do Sul, sendo eles: 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 5).

Figura 5 - Municípios pertencentes a região noroeste do Estado do Rio Grande do Sul objeto do estudo de avaliação de risco à saúde humana do trabalhador rural.



Fonte: Malha municipal (IBGE, 2020).

O Noroeste Rio-Grandense destaca-se por ser uma das regiões do estado com maior área plantada pela cultura da soja, com 3.079.178 ha de cultivo considerando dados de 2019 (53,00 % de toda a área plantada estado do Rio Grande do Sul) (FEIX; JÚNIOR, 2019). Em 2018, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (IBGE, 2018), a área plantada com culturas anuais nos 25 municípios estudados foi maior do que a área utilizada para a atividade de silvicultura (considerando as espécies de pinus e eucalipto) (Tabela 1).

Tabela 1 - Área plantada x Área de silvicultura em 2018, em municípios do Noroeste Rio-Grandense (continua)

Município	Área plantada (ha)	Área plantada (%)	Área total de silvicultura (eucalipto e pinus) (ha)	Área total de silvicultura (eucalipto e pinus) (%)
Alpestre	6.261,00	62,61	1.114,00	11,14
Ametista do Sul	1.864,00	18,64	703,00	7,03
Barra do Guarita	2.858,00	28,58	160,00	1,60
Bom Progresso (RS)	6.856,00	68,56	80,00	0,80
Caiçara (RS)	8.308,00	83,08	361,00	3,61
Cristal do Sul (RS)	15.703,00	157,03	256,00	2,56

Tabela 1 - Área plantada x Área de silvicultura em 2018, em municípios do Noroeste Rio-Grandense (conclusão)

Município	Área plantada (ha)	Área plantada (%)	Área total de silvicultura (eucalipto e pinus) (ha)	Área total de silvicultura (eucalipto e pinus) (%)
Derrubadas (RS)	15.340,00	153,4	360,00	3,60
Erval Seco (RS)	21.766,00	217,66	764,00	7,64
Esperança do Sul (RS)	7.650,00	76,50	300,00	3,00
Frederico Westphalen (RS)	12.065,00	120,65	606,00	6,06
Iraí (RS)	11.074,00	110,74	360,00	3,60
Liberato Salzano (RS)	11.136,00	111,36	385,00	3,85
Novo Tiradentes (RS)	5.428,00	54,28	107,00	1,07
Palmitinho (RS)	3.010,00	30,10	682,00	6,82
Pinhal (RS)	2.755,00	27,55	159,00	1,59
Pinheirinho do Vale (RS)	2.918,00	29,18	282,00	2,82
Rodeio Bonito (RS)	6.288,00	62,88	415,00	4,15
Seberi (RS)	24.028,00	240,28	462,00	4,62
Taquaruçu do Sul (RS)	4.842,00	48,42	127,00	1,27
Tenente Portela (RS)	23.333,00	233,33	1.100,00	11,00
Tiradentes do Sul (RS)	10.044,00	100,44	500,00	5,00
Três Passos (RS)	15.528,00	155,28	750,00	7,50
Vicente Dutra (RS)	11.620,00	116,20	227,00	2,27
Vista Alegre (RS)	3.096,00	30,96	218,00	2,18
Vista Gaúcha (RS)	5.249,00	52,49	155,00	1,55
Total	239.020,00	2390,20	10.633	106,33

Fonte: IBGE (2018).

Dessa forma, embora existam outras áreas com outros tipos de vegetação que não foram registradas pelo IBGE, é possível constatar diferenças significativas entre as áreas ocupadas por plantio de culturas anuais e a silvicultura na região noroeste do estado. Destaca-se o município de Seberi, com 24.028 ha de área plantada com culturas anuais e 462 ha de área utilizada para silvicultura, considerando somente eucalipto e pinus (Tabela 1).

3.2 AVALIAÇÃO DE EXPOSIÇÃO

A avaliação de exposição tem por objetivo determinar o tipo, a magnitude e a frequência da exposição humana às SQI que estão presentes no meio físico, associados a um dado evento de exposição atual ou futuro, que pode se estender por um período (horas, dias ou anos) ou ser um evento isolado (ABNT, 2013).

A avaliação de exposição foi realizada em quatro etapas, sendo elas: 1) caracterização dos cenários de exposição, 2) SQI, 3) modelo conceitual de exposição e 4) quantificação do ingresso. Detalham-se, a seguir, as atividades desenvolvidas em cada uma delas.

3.2.1 Caracterização dos cenários de exposição

A caracterização dos cenários de exposição tem a finalidade de definir todos os caminhos pelos quais a contaminação se desloca, a partir da fonte primária até chegar a uma população potencialmente exposta (ABNT, 2013). Esse cenário deve descrever um mecanismo pelo qual a população poderá ser exposta a uma substância química, considerando um Ponto de Exposição (PDE) e uma via de ingresso (via de exposição ou rota de exposição) que é o modo como uma SQI entra em contato com o organismo exposto, por exemplo ingestão, inalação e/ou contato dérmico (USEPA, 1989).

Dessa forma, em relação a caracterização dos cenários de exposição, foi considerado como meio físico de exposição o solo superficial (superfície de contato do agricultor). A via de ingresso utilizada, que é o modo como uma SQI entra em contato com o organismo exposto (ABNT, 2013), foi contato dérmico com solo superficial, ingestão de solo superficial e inalação de partículas de solo superficial. Os receptores são definidos como organismo, comunidade, habitat sensível ou ecossistema que esteja exposto direta ou indiretamente a um ou mais compostos químicos associados a um evento de contaminação (ABNT, 2013).

Para este estudo foi considerado como receptor os trabalhadores adultos de áreas rurais. O ponto de exposição é um ponto no qual um indivíduo ou população pode entrar em contato com a SQI originária de uma área fonte (ABNT, 2013). Assim, o ponto de exposição escolhido foi como receptor na fonte de contaminação, ou seja, no local onde foi gerada a contaminação (ABNT, 2013).

3.2.2 Substâncias químicas de interesse

Neste estudo, as SQI foram selecionadas de acordo com a indicação de Santos (2021a), que apontam os principais agrotóxicos utilizados por municípios da região noroeste do Rio Grande do Sul, sendo estes: glifosato, dicloreto de paraquate, atrazina, mancozebe, 2,4-D e acefato. Descrevem-se, a seguir, as etapas para estimar as concentrações de cada SQI resultantes da aplicação agrícola do agrotóxico, posteriormente utilizadas para no cálculo de análise de risco.

3.2.2.1 Seleção das principais culturas e utilização dos agrotóxicos no Noroeste do RS.

De acordo com dados do IBGE (2018), em 2018 as culturas mais plantadas na região Noroeste do RS foram soja, milho, fumo, trigo, feijão, mandioca, aveia e cana-de-açúcar (Tabela 2). Considerando a quantidade de área plantada com cada uma dessas culturas em 2018, destacam-se o município de Erval Seco, com o plantio de 14.730 ha de soja, seguido pelo município de Tenente Portela onde foram plantados 13.500 ha dessa cultura (Tabela 2).

Em relação a plantação de milho, os municípios de Seberi e de Vicente Dutra se destacam com 4.000 ha de área plantada cada (Tabela 2). Quanto ao fumo, Caiçara teve 1.350 ha de área plantada, e o trigo ocupou 7.000 ha do município de Tenente Portela (Tabela 2).

As culturas de feijão, mandioca, aveia e a cana de açúcar foram plantadas em menor proporção, ocorrendo o principal plantio nos municípios de Vicente Dutra (com 1.550 ha plantadas com feijão), Seberi (com 500 ha plantadas com mandioca) e Erval Seco (com 1000 ha plantadas com aveia) (Tabela 2) e Seberi, com o plantio de 150 ha com cana de açúcar no ano de 2018 (Tabela 2).

Tabela 2 - Área plantada com soja, milho, fumo, trigo, feijão (em grão), mandioca, aveia e cana de açúcar de município do noroeste do Rio Grande do Sul.

(continua)

Município (RS)	Culturas – Área plantada em ha							
	Soja	Milho	Fumo	Trigo	Feijão (em grão)	Mandioca	Aveia (em grão)	Cana-de-açúcar
Alpestre	900	3200	1200	31	500	288	0	40
Ametista do Sul	500	800	13	15	200	200	0	80
Barra do Guarita	1800	600	3	350	8	45	15	16
Bom Progresso	4400	700	6	1600	10	60	50	10
Caiçara	3000	3000	1350	200	340	220	30	60
Cristal do Sul	4900	2000	1	1390	128	120	4	20
Derrubadas	9500	2300	20	3000	35	120	300	20
Erval Seco	14730	2450	105	2700	310	250	1000	30
Esperança do Sul	4700	1400	160	1000	65	180	0	80
Frederico Westphalen	7300	2800	200	1000	480	150	0	50
Iraí	6000	3000	500	500	730	250	5	40
Liberato Salzano	6300	1200	800	2100	450	150	10	70

Tabela 2 - Área plantada com soja, milho, fumo, trigo, feijão (em grão), mandioca, aveia e cana de açúcar de município do noroeste do Rio Grande do Sul.

(conclusão)

Município (RS)	Culturas – Área plantada em ha							
	Soja	Milho	Fumo	Trigo	Feijão (em grão)	Mandioca	Aveia (em grão)	Cana-de-açúcar
Novo Tiradentes	2400	1050	260	1500	65	25	100	10
Palmitinho	650	1250	510	150	60	300	0	20
Pinhal	1000	1000	3	600	20	50	30	30
Pinheirinho do Vale	1000	1200	470	0	30	150	0	40
Rodeio Bonito	3300	2000	40	700	90	100	0	30
Seberi	13100	4000	200	4620	700	500	700	150
Taquaruçu do Sul	2620	1400	150	450	90	50	30	25
Tenente Portela	13500	2000	120	7000	60	150	400	70
Tiradentes do Sul	5200	2000	100	2000	80	300	100	140
Três Passos	9000	2500	500	3000	45	220	100	65
Vicente Dutra	3800	4000	1000	700	1550	450	0	30
Vista Alegre	1500	850	250	350	25	40	40	15
Vista Gaúcha	3500	1100	20	500	30	50	0	20
TOTAL	124600	47800	7981	35456	6101	4418	2914	1161

Fonte: IBGE (2018).

Distintos agrotóxicos são utilizados nas culturas citadas, para o combate das pragas nas plantações. Estudos realizados por Santos (2021a), indicam o quantitativo da aplicação dos agrotóxicos mais utilizados nas áreas agrícolas dos 25 municípios citados (Quadro 1), sendo esses o glifosato, o dicloreto de paraquate, a atrazina, o mancozebe, o 2,4-D e o acefato. Por esse motivo, essas substâncias foram escolhidas como SQI para realização da análise de risco.

Quadro 1 - Quantidade de agrotóxicos utilizados por município na região Noroeste do RS, no ano de 2018 (em L/ano ou kg/ano).

Municípios do Rio Grande do Sul	Quantidade de agrotóxico utilizado por município					
	Glifosato (L/ano)	Dicloreto de Paraquate (L/ano)	Atrazina (L/ano)	Mancozebe (kg/ano)	2,4-D (L/ano)	Acefato (kg/ano)
Alpestre	10569,40	1191,30	1031,80	1168,40	714,90	1088,30
Ametista do Sul	995,10	218,50	169,30	232,20	26,50	14,60
Barra do Guarita	1255,50	1262,90	309,30	110,00	497,40	157,50
Bom Progresso	6845,20	2800,90	700,00	2275,90	1230,60	1092,90
Caíçara	9747,70	1373,10	2295,30	820,90	1905,50	1138,60
Cristal do Sul	2069,80	983,70	755,80	486,00	993,90	656,30
Derrubadas	26018,90	9870,70	3744,00	3441,00	1251,60	549,60
Erval Seco	13170,70	4910,40	3979,30	10345,40	2461,50	4969,70
Esperança do Sul	21475,20	6117,10	1316,30	695,50	2020,90	891,50
Frederico Westphalen	26363,80	2986,10	5140,80	2174,70	4294,10	1374,20
Iraí	13956,60	2194,30	2817,80	441,20	3219,50	1095,00
Liberato Salzano	14640,70	4054,10	2504,00	925,80	1754,40	1914,20
Novo Tiradentes	6047,90	1404,30	1985,00	1687,80	1196,10	1541,30
Palmitinho	5258,40	522,60	1010,30	70,60	648,00	45,30
Pinhal	4318,20	1759,40	1417,50	1018,80	1084,50	506,30
Pinheirinho do Vale	5551,20	532,90	1380,50	453,30	661,30	675,80
Rodeio Bonito	7030,00	900,50	2608,00	2495,00	1499,50	1650,80
Seberi	11385,90	5553,50	7107,50	16555,30	3402,80	7711,50
Taquaruçu do Sul	2672,80	870,10	1059,00	735,10	958,90	661,30
Tenente Portela	24884,60	20489,80	4432,00	2921,70	2518,40	1486,30
Tiradentes do Sul	26808,00	4568,20	3420,30	350,10	1700,80	2097,80
Três Passos	22204,60	6956,40	4225,00	1117,30	1791,40	634,10
Vicente Dutra	14745,40	2228,60	2623,50	2075,70	3658,50	1482,20
Vista Alegre	3234,20	633,10	655,80	248,20	686,10	179,30
Vista Gaúcha	2570,60	1717,70	2464,80	169,80	337,80	363,80

Fonte: Construído a partir de Santos (2021a).

Em 2018, entre os principais ingredientes ativos dos agrotóxicos, o herbicida glifosato foi o mais consumido na região (283.820,40 Litros), seguido pelo consumo do herbicida dicloreto de paraquate (86.100,20 Litros) e pela atrazina (59.152,90 Litros) (Quadro 1).

Por meio de informações encontradas nas bulas dos produtos e por consultas em bibliografias, foram identificados os principais agrotóxicos utilizados (considerando o conjunto das seis SQI mais utilizadas nos municípios) em cada uma das principais culturas plantadas na região (Tabela 3).

Tabela 3 - Agrotóxicos indicado na bula das substâncias (SQI), para uso nas principais culturas plantadas (em 2018) nos municípios do noroeste do Rio Grande do Sul.

Cultura Plantada	Agrotóxicos que podem ser utilizados na cultura segundo a bula da substância (SQI)
Soja	Glifosato ¹ , Dicloreto de Paraquate ² , Mancozebe ⁴ , 2,4-D ⁵ e Acefato ⁶
Milho	Glifosato, Dicloreto de Paraquate, Atrazina ³ , Mancozebe, 2,4-D e Acefato
Fumo	Mancozebe
Trigo	Glifosato, Dicloreto de Paraquate e 2,4-D
Feijão (em grão)	Dicloreto de Paraquate, Mancozebe e Acefato
Mandioca	Segundo a bula dos produtos, não é indicado a utilização de nenhum dos agrotóxicos estudados na mandioca.
Aveia	2,4 - D
Cana-de-açúcar	Glifosato, Dicloreto de Paraquate, Atrazina e 2,4-D

Fonte: Autoria própria.

Legenda: ¹Nortox (2022a); ²Alta (2019); ³Nortox (2021); ⁴CCAB Agro (2022); ⁵Nortox (2022b); ⁶Nortox (2022c).

Para fins de indicação da aplicação do herbicida dicloreto de paraquate nas diferentes culturas, foi utilizada a bula com a especificação de uso que foi veiculada em 2019. O herbicida dicloreto de paraquate, mais conhecido como paraquat, teve a sua fabricação e comercialização proibida pela ANVISA em setembro de 2020.

3.2.2.2 Cálculo de concentração das SQI.

O cálculo de concentração da SQI para a análise de risco, foi realizado a partir de dados da quantidade de cada agrotóxico aplicados na superfície do solo, essa informação foi considerada como sendo a fonte de contaminação. Para chegar ao resultado da concentração na unidade de medida que a NBR 16.209/2013 (ABNT, 2013) indica que é em mg/kg, foram utilizados os resultados encontrados por Santos (2021a) referentes à quantidade de cada um dos agrotóxicos utilizados por município (Quadro 1).

Tendo em vista que o mesmo agrotóxico pode ser utilizado em mais de uma cultura, foram somadas as áreas de todas as culturas plantadas no município passível (segundo a bula) de uso de um determinado agrotóxico, esse cálculo foi realizado para cada uma das SQI, por município (Tabela 4). O resultado é o total da SQI aplicada dividido pela área total, de uma ou mais culturas onde essa SQI tem indicação de aplicação (segundo a bula ou bibliografia), por município, considerando uma única aplicação (Tabela 4).

Tabela 4 - Área por município em que são aplicados os agrotóxicos (SQI) estudados, considerando uma única aplicação.

Municípios do Rio Grande do Sul	Área do município na qual que é aplicada o agrotóxico (km ²)					
	Glifosato	Dicloreto de Paraquate	Atrazina	Mancozebe	2,4-D	Acefato
Alpestre	41,71	46,71	32,4	26	41,71	46
Ametista do Sul	13,95	15,95	8,8	7,13	13,95	15
Barra do Guarita	27,66	27,74	6,16	18,11	27,81	24,08
Bom Progresso	67,1	67,2	7,1	44,16	67,6	51,1
Caçara	62,6	66	30,6	46,9	62,9	63,4
Cristal do Sul	83,1	84,38	20,2	50,29	83,14	70,28
Derrubadas	148,2	148,55	23,2	95,55	151,2	118,35
Erval Seco	199,1	202,2	24,8	151,45	209,1	174,9
Esperança do Sul	71,8	72,45	14,8	49,25	71,8	61,65
Frederico Westphalen	111,5	116,3	28,5	79,8	111,5	105,8
Iraí	95,4	102,7	30,4	72,3	95,45	97,3
Liberato Salzano	96,7	101,2	12,7	75,5	96,8	79,5
Novo Tiradentes	49,6	50,25	10,6	27,25	50,6	35,15
Palmitinho	20,7	21,3	12,7	12,2	20,7	19,6
Pinhal	26,3	26,5	10,3	10,23	26,6	20,2
Pinheirinho do Vale	22,4	22,7	12,4	15	22,4	22,3
Rodeio Bonito	60,3	61,2	20,3	34,3	60,3	53,9
Seberi	218,7	225,7	41,5	140	225,7	178
Taquaruçu do Sul	44,95	45,85	14,25	28,6	45,25	41,1
Tenente Portela	225,7	226,3	20,7	136,8	229,7	155,6
Tiradentes do Sul	93,4	94,2	21,4	53,8	94,4	72,8
Três Passos	145,65	146,1	25,65	95,45	146,65	115,45
Vicente Dutra	85,3	100,8	40,3	63,5	85,3	93,5
Vista Alegre	27,15	27,4	8,65	17,75	27,55	23,75
Vista Gaúcha	51,2	51,5	11,2	35,5	51,2	46,3

Fonte: IBGE (2018)

Entretanto, a bula de alguns dos agrotóxicos selecionados (entre as principais SQI utilizadas na região) recomenda a realização de mais de uma aplicação em algumas culturas (Quadro 2).

Considerando a possibilidade de ocorrer mais de uma aplicação de um determinado agrotóxico por cultura, foi avaliado um cenário considerando o número máximo de aplicações indicadas para cada substância (SQI). Sendo assim, a quantidade aplicada por área, por município, foi calculada dividindo a quantidade total do produto pela quantidade de vezes em que esse foi aplicado; obtendo-se, assim, a quantidade de produto utilizada em cada aplicação, em cada município.

Quadro 2 - Número máximo de aplicação recomendado para as principais SQI (agrotóxicos) que são aplicados nas culturas de soja, milho, fumo, trigo feijão aveia e cana de açúcar, de acordo com as bulas

Cultura	Quantidade de aplicações recomendadas (segundo a bula)					
	Glifosato ¹ (L/kg)	Dicloreto de Paraquate ² (L/kg)	Atrazina ³ (L/kg)	Mancozebe ⁴ (kg/kg)	2,4-D ⁵ (L/kg)	Acefato ⁶ (kg/kg)
Soja	Geralmente 2 aplicações (1 antes de plantar e 1 depois de plantar)	1 ou no máximo 2 aplicações	Não é utilizado	3 aplicações	1 aplicação	2 aplicações
Milho	Geralmente 2 aplicações (1 antes de plantar e 1 depois de plantar)	1 ou no máximo 2	Pode ser aplicado em pré ou pós emergência (1 aplicação)	3 aplicações	1 aplicação	2 aplicações
Fumo	Não é utilizado	Não é utilizado	Não é utilizado	3 aplicações	Não é utilizado	Não é utilizado
Trigo	1 aplicação	1 ou no máximo 2 aplicações	Não é utilizado	3 aplicações	1 aplicação	Não é utilizado
Feijão (em grão)	Não é utilizado	1 ou no máximo 2 aplicações	Não é utilizado	4 aplicações	Não é utilizado	1 aplicação
Mandioca	Não é utilizado	Não é utilizado	Não é utilizado	Não é utilizado	Não é utilizado	Não é utilizado
Aveia (em grão)	Não é utilizado	Não é utilizado	Não é utilizado	3 aplicações	1 aplicação	Não é utilizado
Cana-de-açúcar	1 aplicação	1 ou no máximo 2 aplicações	Pode ser aplicado em pré ou pós emergência (1 aplicação)	Não é utilizado	1 aplicação	Não é utilizado

Fonte: Autoria própria.

Legenda: ¹Nortox (2022a); ²Alta (2019); ³Nortox (2021); ⁴CCAB Agro (2022); ⁵Nortox (2022b); ⁶Nortox (2022c).

Com esses dados, foi realizado o cálculo para determinar a quantidade de produto utilizado por aplicação, por área (em L/m² ou kg/m²) (Equação 1):

$$QPA = \frac{QAUM}{QAUA*1000000} \quad (1)$$

Onde:

QPA = Quantidade de produto aplicado por área (L/m² ou kg/m²)

QAUM = Quantidade do agrotóxico utilizado por município (L/ano ou kg/ano)

QAUA = Área total plantada no município com a/as cultura que utiliza/m o agrotóxico (km²)

Para estimar a concentração de um determinado agrotóxico por kg de solo (mL/kg ou mg/kg), foi necessário, inicialmente, identificar o tipo de solo que predomina em cada município. Segundo dados da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA (EMBRAPA, 2001), na região predominam solos do tipo Latossolo e Cambissolo (Tabela 5).

Tabela 5 - Tipo de solo predominante nos municípios do noroeste do Rio Grande do Sul.

Municípios Noroeste do Rio Grande do Sul	Tipo do solo predominante	Municípios Noroeste do Rio Grande do Sul	Tipo do solo predominante
Alpestre	Cambissolo	Palmitinho	Cambissolo
Ametista do Sul	Cambissolo	Pinhal	Cambissolo
Barra do Guarita	Cambissolo	Pinheirinho do Vale	Cambissolo
Bom Progresso	Latossolo	Rodeio Bonito	Cambissolo
Caçara	Cambissolo	Seberi	Latossolo
Cristal do Sul	Cambissolo	Taquaruçu do Sul	Latossolo
Derrubadas	Cambissolo	Tenente Portela	Cambissolo
Erval Seco	Latossolo	Tiradentes do Sul	Cambissolo
Esperança do Sul	Cambissolo	Três Passos	Latossolo
Frederico Westphalen	Cambissolo	Vicente Dutra	Cambissolo
Iraí	Cambissolo	Vista Alegre	Latossolo
Liberato Salzano	Cambissolo	Vista Gaúcha	Cambissolo
Novo Tiradentes	Cambissolo		

Fonte: Construído a partir de EMBRAPA (2001).

A partir do tipo de solo, foi necessário encontrar o peso específico do solo. Para o qual, foi considerada a densidade de solo (ρ) de 1,48 g/cm³ para Latossolo, e 0,93 g/cm³ para Cambissolo (SANTOS, 2021a). Foi calculado o volume do solo, considerando uma profundidade igual a 1 m ou 100 cm, como recomendado pela NBR 16.209/2013 (ABNT, 2013) para solo superficial (Equação 2):

$$\text{Volume do solo} = 100\text{cm} * 100\text{cm} * 100\text{cm} = 1.000.000\text{cm}^3 \quad (2)$$

Com o volume do solo já determinado, foi estimado o peso específico dos dois tipos de solo (Latossolo e Cambissolo) (Equação 3):

$$\gamma = \frac{(p * \text{volumedo solo})}{1000} \quad (3)$$

Onde:

γ = Peso específico do solo (kg solo/m³)

p = Densidade do solo em g/cm³

Volume do solo = em cm³

A concentração de determinado agrotóxico (em mL ou mg) por kg de solo foi estimada calculando a quantidade de agrotóxico aplicada em superfície por município, considerando a área agrícola onde ocorreu a aplicação do respectivo produto (Equação 4):

$$CA_{porkgsolo} = \frac{QAM_{porm^2}}{\gamma} \quad (4)$$

Onde:

$CA_{porkgsolo}$ = Concentração de agrotóxico por kg de solo (mL/kg ou mg/kg)

QAM_{porm^2} = Quantidade agrotóxico utilizado no município por m² (L/m² ou kg/m²)

γ = Peso específico do solo (kg solo/m³)

Por último foram realizadas as conversões necessárias para obter a unidade de medida de concentração do agrotóxico em mg/kg, conforme metodologia indicada na NBR 16.209/2013 (ABNT, 2013).

3.2.3 Modelo conceitual de exposição (MCE)

O MCE é constituído por uma síntese de informações relativas à área de estudo onde ocorre a contaminação, o transporte e a distribuição das SQI desde as fontes primárias ou secundárias até os PDE, e sua relação à exposição dos receptores existentes (ABNT, 2013).

Para auxiliar no modelo conceitual de exposição foram utilizadas as planilhas de avaliação de risco publicadas pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) (CETESB, 2021) para o público residencial rural. No modelo conceitual de exposição foi considerado como localização da contaminação, o próprio “solo superficial”; para o transporte e a distribuição das SQI (rotas de exposição), considerou-se que ocorre por contato dérmico,

inalação e ingestão; e que os receptores se encontram localizados na própria fonte de contaminação. O modelo conceitual assim definido pode ser visualizado na planilha modelo ilustrada na Figura 6.

Figura 6 - Modelo conceitual de exposição e via de ingresso selecionados para a avaliação de risco à saúde humana do trabalhador rural de municípios do noroeste do estado do Rio Grande do Sul devido ao uso de agrotóxicos no desenvolvimento da atividade agrícola.

Data:		20/02/2022		Projeto/Identificação		Município Noroeste/RS						
MODELO CONCEITUAL DE EXPOSIÇÃO												
CETESB	MEIO FÍSICO		VIAS DE INGRESSO			RESIDENCIAL RURAL						
	SOLO	SUPERFICIAL	CONTATO DIRETO	INALAÇÃO	VAPORES PARTÍCULAS	CRIANÇA		ADULTO				
						RECEPTOR NA FONTE	RECEPTOR FORA DA FONTE	RECEPTOR NA FONTE	RECEPTOR FORA DA FONTE			
CAMINHOS DE EXPOSIÇÃO	SOLO	SUPERFICIAL	CONTATO DIRETO	INALAÇÃO	VAPORES	NÃO APLICÁVEL	NÃO APLICÁVEL	NÃO APLICÁVEL	NÃO APLICÁVEL			
				CONTATO DÉRMI	PARTÍCULAS					<input checked="" type="checkbox"/>	VERDADEIRO	
				INGESTÃO	AMBIENTES ABERTOS					<input checked="" type="checkbox"/>	VERDADEIRO	
				INGESTÃO DE VEGETAIS	AMBIENTES FECHADOS					<input checked="" type="checkbox"/>	VERDADEIRO	
	ÁGUA	SUBTERRÂNEA	CONTATO DIRETO	INALAÇÃO	AMBIENTES ABERTOS	NÃO APLICÁVEL	NÃO APLICÁVEL	NÃO APLICÁVEL	NÃO APLICÁVEL	NÃO APLICÁVEL		
				AMBIENTES FECHADOS	<input type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>	
				INGESTÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA A PARTIR DA LIXIVIAÇÃO	<input type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>	
		SUPERFICIAL	RECREAÇÃO	INALAÇÃO	AMBIENTES ABERTOS						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				INGESTÃO	AMBIENTES FECHADOS						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				CONTATO DÉRMI	INGESTÃO						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
AR			INALAÇÃO		NÃO APLICÁVEL	NÃO APLICÁVEL	NÃO APLICÁVEL	NÃO APLICÁVEL				
SEDIMENTO			INGESTÃO		NÃO APLICÁVEL	NÃO APLICÁVEL	NÃO APLICÁVEL	NÃO APLICÁVEL				
			CONTATO DÉRMI									

Fonte: CETESB (2021).

3.2.4 Quantificação do ingresso.

O ingresso é expresso pela massa de SQI, por massa corpórea e unidade de tempo, considerando as possíveis vias de ingresso consideradas neste estudo, que são por contato dérmico, ingestão e inalação.

O cálculo do ingresso (In) considera o cenário de exposição definido no MCE da área de interesse, sendo esse cenário a situação que tem chance real de ocorrência, onde o receptor pode vir a ser direta ou indiretamente exposto à SQI (ABNT, 2013).

3.2.4.1 Quantificação do Ingresso (In).

A quantificação do ingresso é realizada conforme a via de ingresso. Neste estudo foram consideradas três vias de exposição: o contato dérmico, a ingestão e a inalação a partir do solo superficial.

Para o cálculo do In (ingresso) por contato dérmico com solo superficial deve ser utilizada a equação 5 (ABNT, 2013). A dose calculada corresponde à dose absorvida pelo organismo, sendo função do fator de absorção dérmica (ABSd) (Equação 5) (ABNT, 2013).

$$In_{\text{contato dérmico}} = C_{\text{solo.superficial}} \times \frac{SA \times AF \times EF \times EV \times ED \times ABSd \times CFk}{BW \times AT} \quad (5)$$

$In_{\text{Contato dérmico}}$ = é o ingresso da SQI “n” por contato dérmico com o solo superficial, expresso miligramas por quilograma dia (mg/kg.dia);

Para o calculo de ingestão de solo soperficial são utilizadas as Equações 6 e 7:

$$In_{\text{ingestão}} = C_{\text{solo.superficial}} \times \frac{AF \times EF \times EV \times ED \times CFk}{BW \times AT} \quad (6)$$

$$In_{\text{ingestão}} = C_{\text{solo.superficial}} \times \frac{IRs \times FI \times EF \times EV \times ED \times CFk}{BW \times AT} \quad (7)$$

$In_{\text{ingestão}}$ = é o ingresso da SQI “n” por ingestão de solo superficial, expresso miligramas por quilograma dia (mg/kg.dia);

Já para o calculo da inalação de particulas do solo superficial é utilizada a Equação 8:

$$In_{\text{inalação}} = C_{\text{solo.superficial}} \times \frac{IR \times EF \times ET \times EV \times ED}{BW \times AT} \quad (8)$$

$In_{\text{Inalação}}$ = é o ingresso da SQI “n” por inalação de solo superficial, expresso miligramas por quilograma dia (mg/kg.dia);

Os parametros utilizados para os cálculos foram retirados das planilhas de avaliação de risco da Cetesb (CETESB, 2021) e estão descritos abaixo (Tabela 6).

Tabela 6 - Parâmetros de exposição utilizados para cálculo de ingresso de substâncias selecionadas para a avaliação de risco à saúde humana do trabalhador rural em municípios do noroeste do estado do Rio Grande do Sul.

Variável	Descrição	Valor adulto
$C_{\text{solo,superficial}}$	Concentração do elemento no solo	Calculado em (mg/kg)
SA	Área superficial da pele disponível para contato dérmico - solo	6.032 cm ²
AF	Fator de aderência do solo na pele	0,07 mg/cm ²
EF	Frequência da exposição para contato dérmico com solo superficial	350 (d/a)
EV	Frequência de eventos para contato dérmico com o solo	1 (eventos/d)
ED	Duração da exposição	78 Anos
BW	massa corpórea	69 kg
ATc	Tempo médio para efeito carcinogênico	28.616 dias
ATnc	Tempo médio para efeito carcinogênico	28.616 dias
IRs	Taxa de ingestão de solo	100 mg/dia
FI	Fração ingerida da fonte de contaminação - solo	1,00
IR	Taxa de inalação diária em ambientes abertos	1,20 m ³ /hora
ET	Tempo de exposição para inalação de vapores em ambientes abertos	8
CFk	Fator de conversão de mg para kg	1,0E-6

Fonte: Adaptado de CETESB (2021).

3.3 ANÁLISE DE TOXICIDADE

A análise de toxicidade, segundo a NBR 16.209/2013 (ABNT, 2013), consiste na seleção de dados toxicológicos relativos às SQI, possibilitando a interpretação dos possíveis efeitos adversos à saúde humana associados a um evento de exposição.

Esses dados são obtidos em bancos de dados toxicológicos validados cientificamente, que servirão como fonte de informações sobre o perfil toxicológico da SQI, como tipos de efeitos adversos à saúde, fatores de carcinogenicidade e doses de referência (ABNT, 2013).

São considerados separadamente os efeitos carcinogênicos e os não carcinogênicos devido ao fato de que, para as substâncias carcinogênicas não há, teoricamente, um nível de exposição que seja isento de risco, enquanto para as substâncias não carcinogênicas há uma concentração limite da qual os não se esperam efeitos adversos (ABNT, 2013).

Para os efeitos carcinogênicos, a análise toxicológica é realizada com base no fator de carcinogenicidade (SF), que representa a inclinação da curva dada pela regressão linear de dados de ensaios de dose e resposta para efeitos carcinogênicos (ABNT, 2013). Com o SF é possível realizar o cálculo da probabilidade de um indivíduo desenvolver câncer durante o

tempo de vida, como resultado de exposição a uma determinada concentração de SQI (ABNT, 2013).

Já para os efeitos não carcinogênicos a análise é realizada com base na determinação da Dose de Referência (RfD), a qual é dependente da via de ingresso, dos efeitos adversos e da duração da exposição, que pode ser classificada em aguda, crônica e subcrônica, diferenciando-se uma da outra pela manifestação dos efeitos adversos em função do tempo de exposição (ABNT, 2013).

Os dados toxicológicos utilizados nos cálculos foram retirados das planilhas de avaliação de risco da CETESB (CETESB, 2021) onde consta uma seção com dados toxicológicos das substâncias químicas. A CETESB usa como referência dados toxicológicos publicados pela USEPA (CETESB, 2021).

3.4 CARACTERIZAÇÃO DO RISCO

A quantificação do risco foi realizada individualmente para cada SQI, considerando seu efeito carcinogênico e não carcinogênico, para cada caminho de exposição identificado no modelo conceitual de exposição da área de interesse, conforme diretriz da NBR 16.209/2013 (ABNT, 2013).

3.4.1 Quantificação de risco para efeitos carcinogênicos.

A quantificação do risco à saúde humana de uma determinada SQI em um dado cenário de exposição, para efeitos carcinogênicos, é calculada pela Equação 9:

$$Risco_{in} = I_n \times SF_n \quad (9)$$

Onde:

$Risco_{in}$ = Risco carcinogênico para a SQI n no cenário i

I_n (mg/kg.dia) = ingresso para a SQI n

SF_n (mg/kg.dia)⁻¹ = Fator de carcinogenicidade da SQI n

Neste estudo, a quantificação do risco à saúde humana levou em conta múltiplos cenários de exposição, assim calculado o risco carcinogênico total Equação 10.

$$Risco_{TS} = \sum_{i=1}^P Risco_{SQI\ i} \quad (10)$$

Onde:

P = Número de cenários possíveis

$Risco_{TS}$ = Risco carcinogênico total para a SQI

$Risco_{SQI\ i}$ = Risco carcinogênico no cenário i para a SQI

Pelo fato de haver exposição a múltiplas SQI, foi utilizada a Equação 11 para calcular o risco carcinogênico total para cada cenário de exposição (contato dérmico, ingestão e inalação):

$$Risco_{TC} = \sum_{j=1}^Q Risco_{SQI\ j} \quad (11)$$

Onde:

P = Número de SQI possíveis

$Risco_{TC}$ = Risco carcinogênico total para o cenário c

$Risco_{SQI\ j}$ = Risco carcinogênico para a SQI j no cenário c

Finalmente foi calculado o risco total à saúde humana, decorrente da exposição a múltiplas substâncias carcinogênicas e em múltiplos cenários, a partir do somatório dos riscos das q SQI e p cenários (Equação 12):

$$Risco_{Total} = \sum_{i=1}^P + \sum_{j=1}^Q Risco_{cenário\ i, SQI\ j} \quad (12)$$

Onde:

Q = Número de SQI possíveis

P = Número de cenários possíveis

$Risco_{cenário\ i, SQI\ j}$ = Risco carcinogênico para o cenário i e a SQI j

3.4.2 Quantificação de risco para efeitos não carcinogênicos.

A quantificação do risco à saúde humana para uma determinada SQI em um dado cenário de exposição, para efeitos não carcinogênicos, foi calculada pela Equação 13:

$$QR_{in} = \frac{I_n}{RfD_n} \quad (13)$$

Onde:

QR_{in} = Quociente de risco para a SQI n para o cenário i

I_n (mg/kg.dia) = ingresso para a SQI n

RfD_n (mg/kg.dia) = Dose de referência da SQI n

Para múltiplos cenários de exposição a uma determinada SQI, o Quociente de Risco (QR) foi obtido por (Equação 14):

$$QR_{TS} = \sum_{i=1}^P QR_{SQI i} \quad (14)$$

Onde:

P = Número de cenários possíveis

QR_{TS} = QR total para a SQI

$QR_{SQI i}$ = QR no cenário i para a SQI

Já para o caso de múltiplas SQI e um determinado cenário de exposição c , o QR foi calculado mediante a aplicação da Equação 15:

$$QR_{TC} = \sum_{j=1}^Q QR_{SQI j} \quad (15)$$

Onde:

Q = Número de SQI possíveis

QR_{TC} = QR total para o cenário c

$QR_{SQI j}$ = QR para a SQI j no cenário c

O Índice de Risco (IR), decorrente da exposição total a múltiplas substâncias não carcinogênicas e múltiplos cenários, foi quantificado a partir do somatório do QR das q SQI e p cenários (Equação 16).

$$IR_{Total} = \sum_{l=1}^P + \sum_{j=1}^Q QR_{cenário i, SQI j} \quad (16)$$

Onde:

Q = Número de SQI possíveis

P = Número de cenários possíveis

$QR_{cenário\ i, SQI\ j}$ = Quociente de risco para o cenário i e a SQI j

3.5 ANÁLISES DE INCERTEZAS.

Foi realizada esta análise com o intuito de caracterizar as incertezas que podem ter ocorrido no desenvolvimento deste estudo, sendo identificadas incertezas referentes às informações da área de estudo, à análise de toxicidade e à avaliação de exposição.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 VIAS DE EXPOSIÇÃO, RECEPTORES E CENÁRIOS DE EXPOSIÇÃO.

As vias de exposição são caracterizadas pelo meio de transporte entre a fonte de contaminação e os receptores identificados. Neste estudo foi considerado como via de exposição o solo superficial.

Os receptores foram considerados como *on-site*, o que significa que todos estão situados sobre a área fonte de contaminação. Assim, foi considerado como receptor o trabalhador rural, pois este tem um contato mais próximo com as SQI no momento da aplicação do agrotóxico em solo superficial (Quadro 3). Além disso, considerou-se que o receptor não estaria utilizando Equipamento de Proteção Individual (EPI) durante a aplicação do produto.

Quadro 3 – Cenários analisados, rotas de exposição e receptor selecionado para análise de exposição das SQI analisadas nos municípios do Noroeste do Rio Grande do Sul.

Cenários	Rotas de exposição (Solo superficial)	Receptor
- Aplicação única do produto - Aplicação com repetições	Ingestão	Trabalhador rural
	Contato dérmico	
	Inalação	

Fonte: Autor (2022).

Neste estudo, foram considerados dois cenários de exposição diferentes, sendo um quando ocorre aplicação do produto em uma única vez e outro quando as doses são aplicadas com repetições ou respeitando as indicações da bula das SQI (Quadro 3). Como rotas de

exposição para o trabalhador rural, foram consideradas a ingestão de solo contaminado, o contato dérmico com solo contaminado e a inalação de partículas de solo contaminado.

Foi considerado que o trabalhador rural não utiliza EPI para assim avaliar o pior cenário de contaminação, porém sabe-se que a utilização do equipamento diminuiria o risco de contaminação ao receptor.

4.2 CARACTERIZAÇÃO TOXICOLÓGICA DAS SQI.

As SQI neste trabalho foram adotadas de acordo com o histórico de utilização nos municípios de interesse, selecionando-se as substâncias que apresentaram as maiores quantidades de utilização nessas áreas, sendo essas os agrotóxicos glifosato, dicloreto de paraquate, atrazina, mancozebe, 2,4-D e acefato. Segundo estudos da IARC (2018), ANVISA (BRASIL, 2019a), e USEPA (2019), todas estas SQI tem algum tipo de relação com o câncer (Tabela 7).

O herbicida 2,4 D é caracterizado pela ANVISA (BRASIL, 2019a) como extremamente tóxico (Classe I) e possível carcinogênico para humanos (Tabela 7). Os agrotóxicos classificados como Classe I podem ser fatais se ingeridos, inalados e se tiverem contato com a pele.

Já os classificados como classe III - medianamente tóxicos, são o acefato, a atrazina e o mancozebe (Tabela 7). De acordo com essa classificação, esses produtos podem ser tóxicos se ingeridos, inalados ou se tiverem contato com a pele.

O glifosato que é um dos herbicidas mais utilizado no mundo é classificado como pouco tóxico (Classe IV) (Tabela 7). Essa classificação significa que o produto pode ser nocivo se ingerido, inalado ou se tiver contato com a pele.

O agrotóxico dicloreto de paraquate não está na lista pois a utilização desse foi proibida no Brasil pela ANVISA, porém, quando era permitido possuía classificação como Classe I.

Tabela 7 - Lista de ingredientes ativos de grande consumo no Brasil com autorização de uso pela ANVISA, sua classificação referente a carcinogenicidade e a relação que cada um pode ter com o câncer.

Nome CAS n°	Grupo	Classificação Toxicológica (ANVISA ¹)	Classificação da Carcinogenicidade		Relação com Câncer
			IARC ²	USEPA ³	
2,4 - D 94-75-7	Herbicida	Classe I – Extremamente tóxico	Grupo 2B: Possivelmente carcinogênico para humanos	-	Pele, cavidade nasal, sinusal, nasofaringe, orofaringe, laringe
Acefato 30560-19-1	Inseticida	Classe III – Medianamente tóxico	ND	Possível carcinogênico para humanos	Leucemias, Linfomas não Hodgkin, pâncreas
Atrazina 1912-24-9	Herbicida	Classe III – Medianamente tóxico	Grupo 3: Não é classificável para carcinogenicidade em humanos	Possível carcinogênico para humanos	Linfomas não Hodgkin
Glifosato 1071-83-6	Herbicida	Classe IV – Pouco tóxico	Grupo 2B: Possivelmente carcinogênico para humanos	-	Linfomas não Hodgkin
Mancozeb e 8018-01-7	Fungicida	Classe III – Medianamente tóxico	Grupo 3: Não é classificável para carcinogenicidade em humanos	-	Linfomas não Hodgkin

Fonte: Adaptado de ¹BRASIL (2019a); ²IARC (2018) e ³USEPA (2019).

Todos os agrotóxicos citados apresentam alguma relação com o câncer, porém a USEPA (2019) caracteriza apenas a atrazina como carcinogênica, por esse motivo, é a única substância que possui o fator de carcinogenicidade (SF) definido com o valor de 2,30E-1 mg/kg.dia (Tabela 8), podendo assim ser calculado risco carcinogênico.

Tabela 8 - Parâmetros toxicológicos das SQI selecionadas para cálculo de análise de risco a saúde humana em municípios do noroeste do Rio Grande do Sul.

Substância	Fator de carcinogenicidade (SF) ¹ (mg/kg-dia)	Dose de referência (RfD) ¹ (mg/kg-dia)	Fator de absorção dérmica (ABSd) ¹ s
Glifosato	-	1,00E-01	1,00E-01
Dicloreto de Paraquate	-	4,50E-03	1,00E-01
Atrazina	2,30E-01	3,50E-02	1,00E-01
Mancozebe	-	3,00E-02	1,00E-01
2,4-D	-	1,00E-02	1,00E-01
Acefato	-	1,20E-03	1,00E-01

Fonte: ¹CETESB (2021).

O glifosato, dicloreto de paraquate, mancozebe, 2,4 D e acefato são classificados pela USEPA como não carcinogênicos, assim, possuem RfD, sendo esse o valor toxicológico recomendado para avaliar efeitos potenciais não carcinogênicos em humanos, resultantes da exposição a SQI.

Os valores de SF e RFD adotados foram retirados das planilhas de avaliação de risco da CETESB e essa por sua vez utiliza como referência valores da USEPA e os adapta para utilização no Brasil.

O fator de absorção dérmico (ABS_d) adotado pela CETESB é 0,1 para todas as SQI citadas no estudo (Tabela 8). Pelo fato da atrazina ser uma substância carcinogênica e não carcinogênica, ela pode ser classificada como a mais tóxica entre as SQI selecionadas no estudo.

4.3 CARACTERIZAÇÃO DO RISCO.

De acordo com a NBR 16.209/2013 (ABNT, 2013), para as substâncias carcinogênicas, que nesse caso é apenas a atrazina, a caracterização do risco apresenta a probabilidade adicional do desenvolvimento de câncer no decorrer do tempo de vida a partir da exposição a uma SQI. Ainda, segundo a norma, para as substâncias carcinogênicas qualquer valor encontrado é considerado como risco, porém para fixação de metas de remediação e gerenciamento do risco, o risco carcinogênico calculado deve ser comparado com o nível de risco aceitável estabelecido pelo órgão regulamentador local ou por estudos existentes sobre o tema.

Os riscos carcinogênicos quantificados foram considerados inaceitáveis quando acima de 10^{-6} . Esse limite também foi utilizado em outras avaliações de risco já realizadas (FAN et al., 2010; HAN et al., 2016; MACHADO et al., 2018; CERBARO et al., 2021).

Para as substâncias não carcinogênicas (glifosato, dicloreto de paraquate, mancozebe, 2,4-D e acefato), é caracterizado como risco quando o resultado após aplicação das equações for superior a 1 (ABNT, 2013). Para atrazina também é calculado risco não carcinogênico pelo fato de poder apresentar esses efeitos para a saúde.

A seguir serão apresentados os resultados dos cálculos da análise de risco. Para isso, essa etapa será dividida em duas partes, sendo que a primeira conta com os resultados quando o produto é utilizado em aplicação única (I cenário), e após quando é realizada mais aplicações (II cenário).

4.3.1 Risco de contaminação com aplicação única no solo

No primeiro cenário (Cenário I) para o cálculo de análise de risco para a saúde humana, foi considerado que cada SQI foi aplicada em uma única vez (aplicação única) na área total da/s cultura/s (definidas segundo a bula do respectivo produto), ou seja, sem repetições. A partir dessa premissa, para o Cenário I foram calculadas as concentrações de cada agrotóxico no solo, posteriormente à sua aplicação (para aplicação de 100,00 % do produto), em cada um dos municípios estudados (Tabela 9).

Tabela 9 - Concentração da SQI no solo superficial considerando aplicação única do produto (Cenário I) em mg por kg de solo.

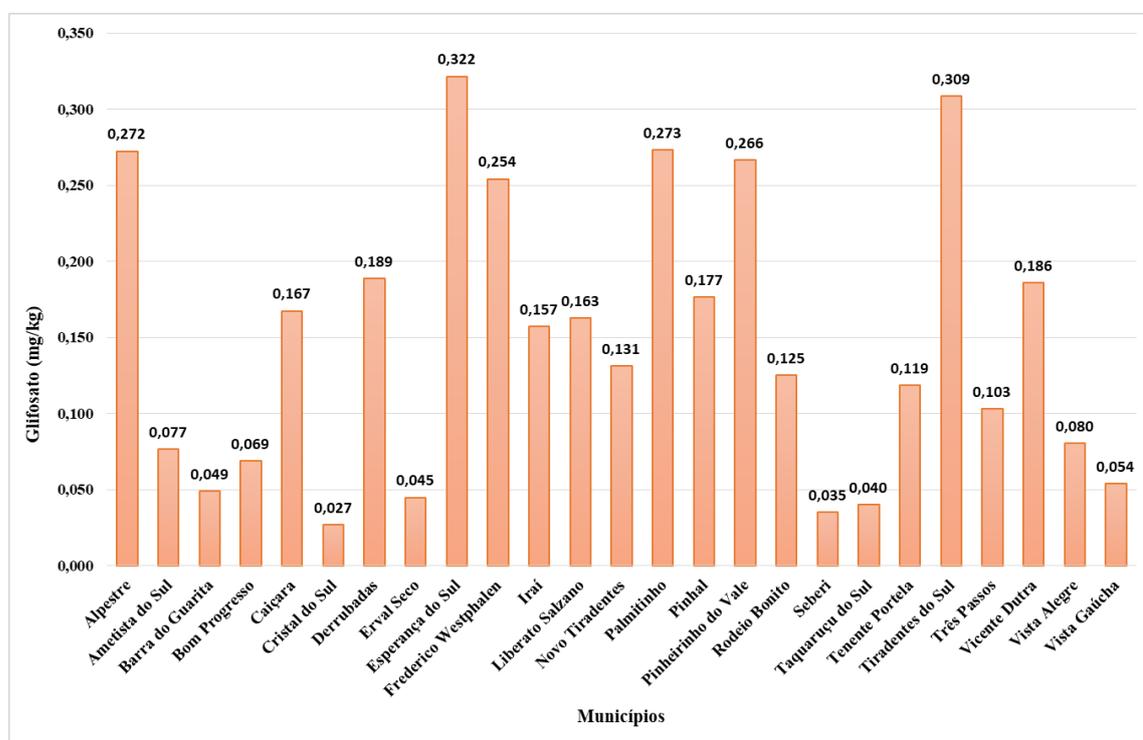
Municípios do Rio Grande do Sul	Concentrações encontradas em aplicação única					
	Glifosato (mg/kg)	Dicloreto de Paraquate (mg/kg)	Atrazina (mg/kg)	Mancozebe (mg/kg)	2,4-D (mg/kg)	Acefato (mg/kg)
Alpestre	0,272	0,027	0,034	0,048	0,018	0,025
Ametista do Sul	0,077	0,015	0,021	0,035	0,002	0,001
Barra do Guarita	0,049	0,049	0,054	0,007	0,019	0,007
Bom Progresso	0,069	0,028	0,067	0,035	0,012	0,014
Caiçara	0,167	0,022	0,081	0,019	0,033	0,019
Cristal do Sul	0,027	0,013	0,040	0,010	0,013	0,010
Derrubadas	0,189	0,071	0,174	0,039	0,009	0,005
Erval Seco	0,045	0,016	0,108	0,046	0,008	0,019
Esperança do Sul	0,322	0,091	0,096	0,015	0,030	0,016
Frederico Westphalen	0,254	0,028	0,194	0,029	0,041	0,014
Iraí	0,157	0,023	0,100	0,007	0,036	0,012
Liberato Salzano	0,163	0,043	0,212	0,013	0,019	0,026
Novo Tiradentes	0,131	0,030	0,201	0,067	0,025	0,047
Palmitinho	0,273	0,026	0,086	0,006	0,034	0,002
Pinhal	0,177	0,071	0,148	0,107	0,044	0,027
Pinheirinho do Vale	0,266	0,025	0,120	0,032	0,032	0,033
Rodeio Bonito	0,125	0,016	0,138	0,078	0,027	0,033
Seberi	0,035	0,017	0,116	0,080	0,010	0,029
Taquaruçu do Sul	0,040	0,013	0,050	0,017	0,014	0,011
Tenente Portela	0,119	0,097	0,230	0,023	0,012	0,010
Tiradentes do Sul	0,309	0,052	0,172	0,007	0,019	0,031
Três Passos	0,103	0,032	0,111	0,008	0,008	0,004
Vicente Dutra	0,186	0,024	0,070	0,035	0,046	0,017
Vista Alegre	0,080	0,016	0,051	0,009	0,017	0,005
Vista Gaúcha	0,054	0,036	0,237	0,005	0,007	0,008

Fonte: Autor (2022).

De acordo com os dados de concentração estimados para o Cenário I (de aplicação única do produto no solo), o glifosato, que é agrotóxico mais utilizado na região, obteve a maior

concentração de aplicação no município de Esperança do Sul (0,322 mg/kg), Tiradentes do Sul (0,309 mg/kg), Palmitinho (0,273 mg/kg) e Alpestre (0,272 mg/kg), sendo que os demais municípios apresentaram concentrações inferiores a 0,200 mg/kg (Tabela 9 e Figura 7).

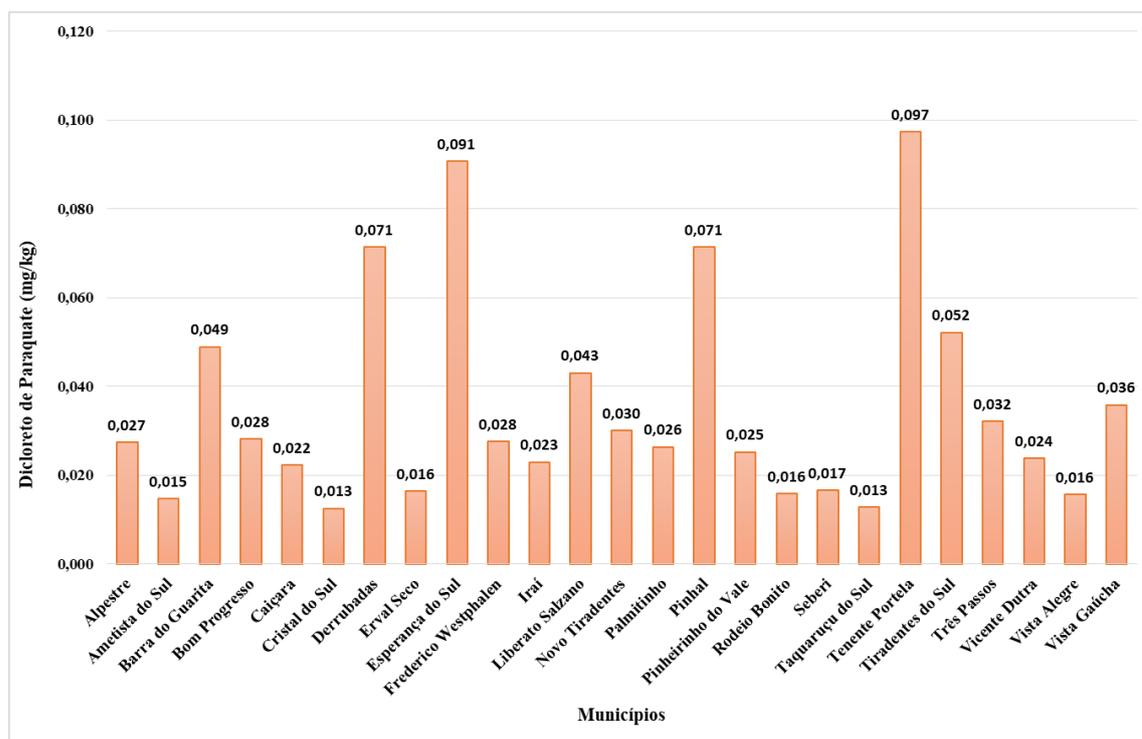
Figura 7 – Estimativa das concentrações de glifosato em solo considerando a comercialização de 2018. Cenário I (aplicação única).



Fonte: Autor (2022).

A aplicação em solo do dicloreto de paraquate resulta em concentrações inferiores a 0,100 mg/kg em todos os municípios, destacando-se as concentrações aplicadas em Tenente Portela (0,097 mg/kg), Esperança do Sul (0,091 mg/kg), Pinhal e Derrubadas (ambos com 0,071 mg/kg) (Tabela 9 e Figura 8). Vale ressaltar que essa SQI teve sua comercialização proibida pela ANVISA no Brasil, porém, em 2018 o produto era ainda amplamente comercializado e utilizado na atividade agrícola de todos os municípios da região.

Figura 8 - Estimativa das concentrações de dicloreto de paraquate em solo considerando a comercialização de 2018. Cenário I (aplicação única).



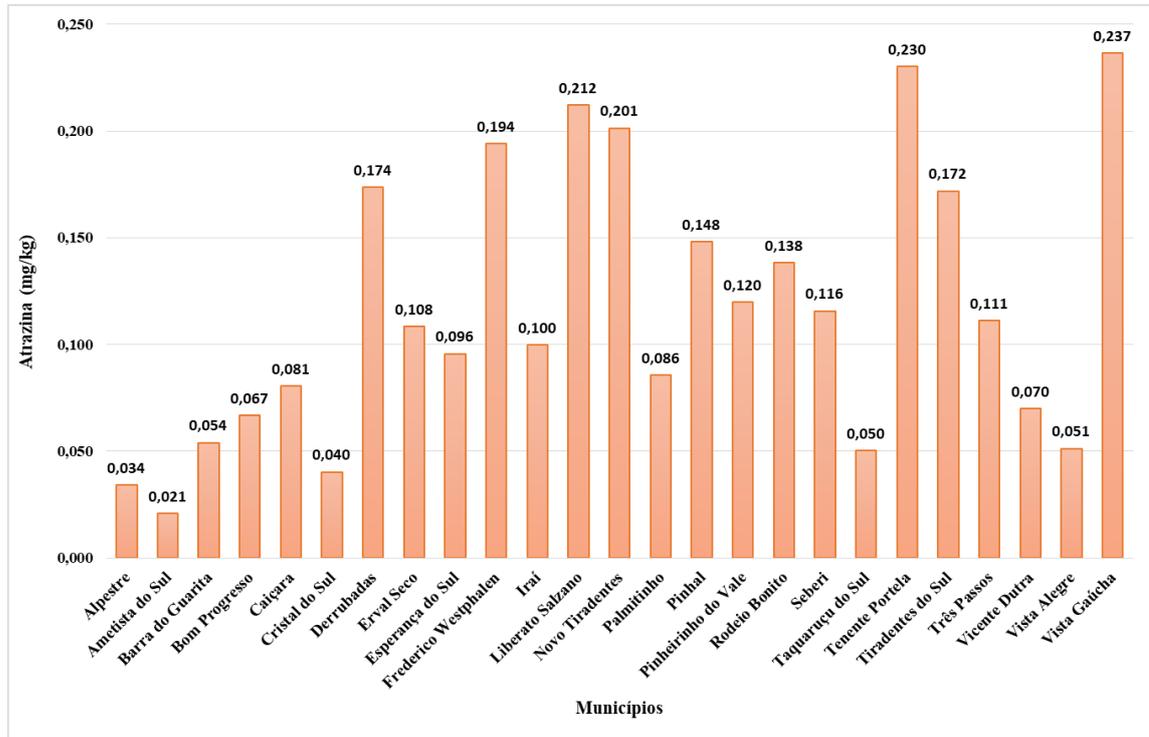
Fonte: Autor (2022).

As maiores concentrações de atrazina em solo considerando uma única aplicação ocorreram nos municípios de Vista Gaúcha (0,237 mg/kg), Tenente Portela (0,230 mg/kg), Liberato Salzano (0,212 mg/kg) e Novo Tiradentes (0,201 mg/kg) (Tabela 9 e Figura 9).

Em relação ao mancozebe, foi estimado que as maiores concentrações no solo ocorreram nos municípios de Pinhal (0,107mg/kg), Seberi (0,080mg/kg), Rodeio Bonito (0,078mg/kg) e Novo Tiradentes (0,067mk/kg) (Tabela 9 e Figura 10).

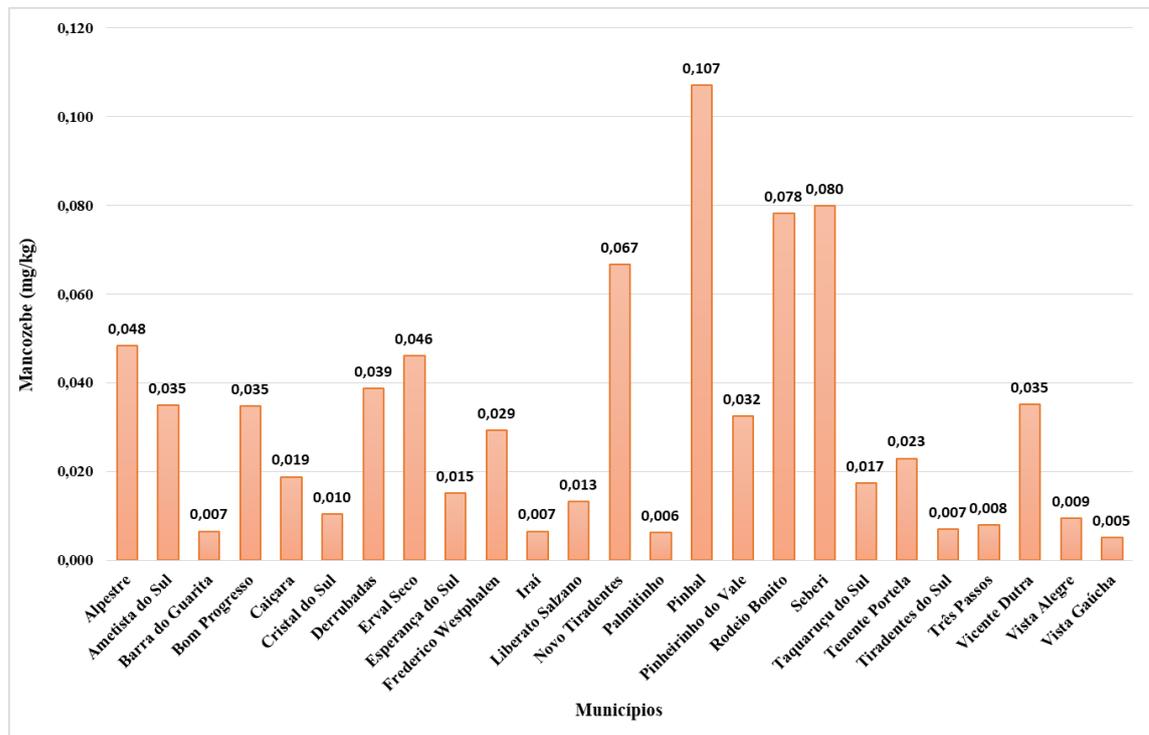
Os municípios de Vicente Dutra, Pinhal e Frederico Westphalen foram os que apresentaram maior concentração do agrotóxico 2,4 D (0,046 mg/kg, 0,440 mg/kg e 0,410 mg/kg respectivamente). Nos demais municípios as concentrações dessa SQI não ultrapassaram 0,040 mg/kg (Tabela 9 e Figura 11).

Figura 9 - Estimativa das concentrações de atrazina em solo considerando a comercialização de 2018. Cenário I (aplicação única)



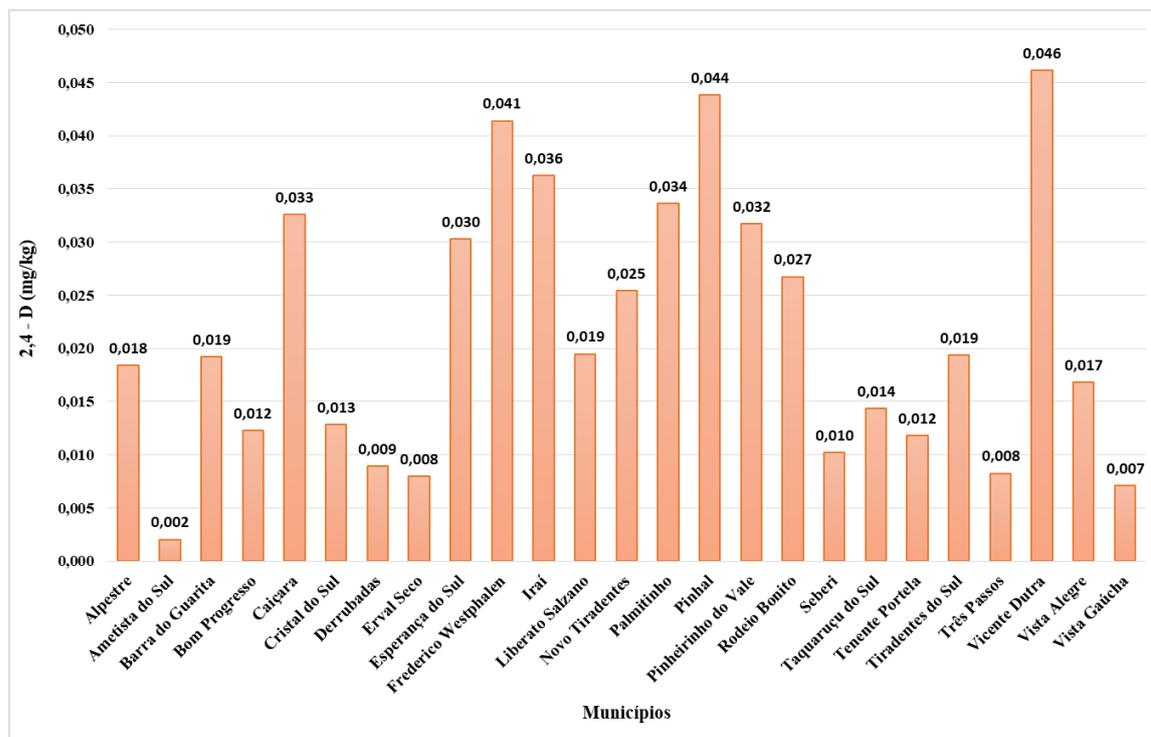
Fonte: Autor (2022).

Figura 10 - Estimativa das concentrações de mancozebe em solo considerando a comercialização de 2018. Cenário I (aplicação única)



Fonte: Autor (2022).

Figura 11 - Estimativa das concentrações de 2,4-D em solo considerando a comercialização de 2018. Cenário I (aplicação única).

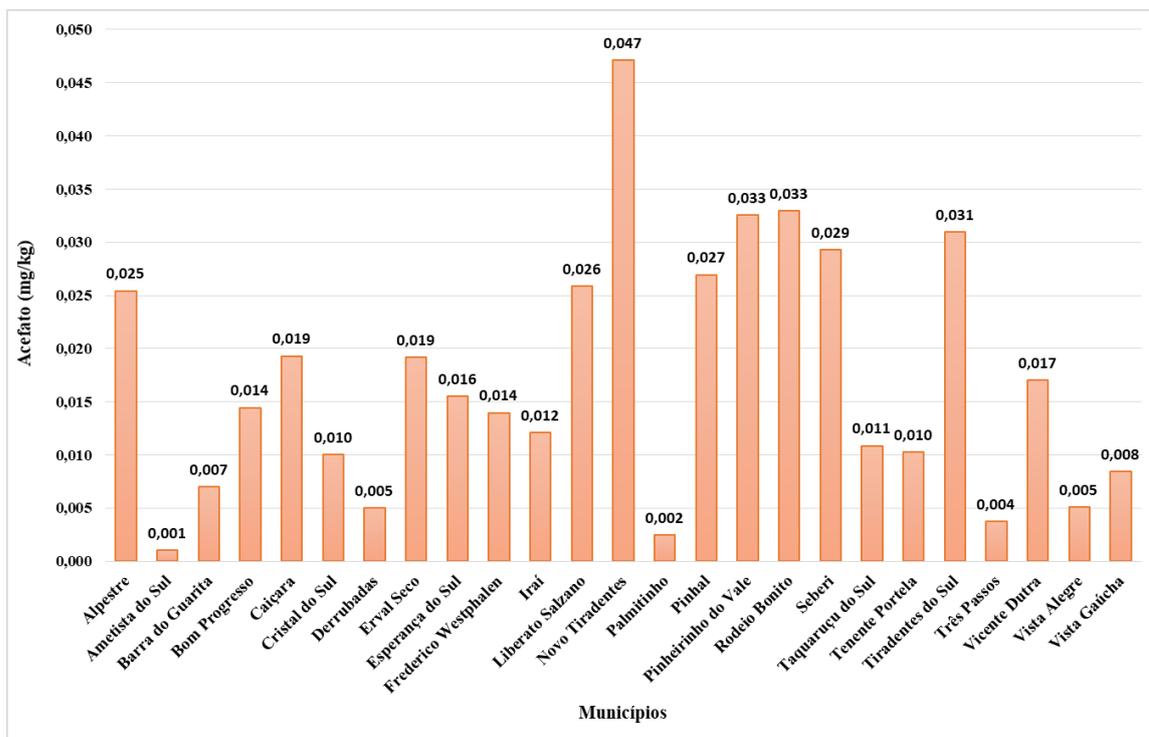


Fonte: Autor (2022).

Em relação ao acefato, mais uma vez se destaca o município de Novo Tiradentes (0,047 mg/kg) pela elevada aplicação da SQI, seguido por Pinheirinho do Vale e Rodeio Bonito (0,033 mg/kg) (Tabela 9 e Figura 12).

Entre os municípios que aplicam elevadas concentrações dos principais agrotóxicos utilizados na região, encontram-se Tiradentes do Sul, Pinhal, Esperança do Sul e Frederico Westphalen.

Figura 12 - Estimativa das concentrações de acefato em solo considerando a comercialização de 2018. Cenário I (aplicação única).



Fonte: Autor (2022).

4.3.1.1 Quantificação de risco com aplicação única.

Das seis SQI selecionadas apenas a atrazina apresenta potencial carcinogênico segundo a USEPA (USEPA, 2019). As demais substâncias são classificadas como não carcinogênicas, apesar possuírem relação com o câncer, como mostrado anteriormente (Tabela 7).

Com os dados de concentração da SQI no solo, foi possível aplicar as equações de ingresso dessas substâncias e, também, a equação para o cálculo de risco, considerando as três vias de exposição analisadas (dérmica, ingestão e inalação) (Tabelas 10, 11 e 12).

Tabela 10 - Risco à saúde humana do trabalhador rural no ambiente de trabalho, por contato dérmico com solo contendo agrotóxico, considerando a aplicação única do produto (Cenário I).

Risco à saúde humana do trabalhador rural por contato dérmico.							
Municípios do Rio Grande do Sul	Glifosato	Dicloreto de Paraquate	Atrazina		Mancozebe	2,4 - D	Acefato
	NC	NC	C	NC	NC	NC	NC
Alpestre	1,60E-06	3,55E-05	4,62E-09	5,74E-07	9,45E-07	1,08E-06	1,24E-05
Ametista do Sul	4,50E-07	1,00E-05	2,79E-09	3,47E-07	6,85E-07	1,20E-07	5,12E-07
Barra do Guarita	2,86E-07	6,36E-06	7,29E-09	9,05E-07	1,28E-07	1,13E-06	3,44E-06
Bom Progresso	4,04E-07	8,99E-06	8,99E-09	1,12E-06	6,81E-07	7,22E-07	7,07E-06
Caçara	9,82E-07	2,18E-05	1,09E-08	1,35E-06	3,68E-07	1,91E-06	9,44E-06
Cristal do Sul	1,57E-07	3,49E-06	5,43E-09	6,75E-07	2,03E-07	7,54E-07	4,91E-06
Derrubadas	1,11E-06	2,46E-05	2,34E-08	2,91E-06	7,57E-07	5,22E-07	2,44E-06
Erval Seco	2,62E-07	5,83E-06	1,46E-08	1,82E-06	9,03E-07	4,67E-07	9,39E-06
Esperança do Sul	1,89E-06	4,19E-05	1,29E-08	1,60E-06	2,97E-07	1,78E-06	7,60E-06
Frederico Westphalen	1,49E-06	3,32E-05	2,62E-08	3,25E-06	5,73E-07	2,43E-06	6,83E-06
Iraí	9,23E-07	2,05E-05	1,35E-08	1,67E-06	1,28E-07	2,13E-06	5,92E-06
Liberato Salzano	9,55E-07	2,12E-05	2,86E-08	3,55E-06	2,58E-07	1,14E-06	1,27E-05
Novo Tiradentes	7,69E-07	1,71E-05	2,72E-08	3,38E-06	1,30E-06	1,49E-06	2,31E-05
Palmitinho	1,60E-06	3,56E-05	1,15E-08	1,43E-06	1,22E-07	1,98E-06	1,22E-06
Pinhal	1,04E-06	2,30E-05	2,00E-08	2,48E-06	2,09E-06	2,57E-06	1,32E-05
Pinheirinho do Vale	1,56E-06	3,47E-05	1,62E-08	2,01E-06	6,36E-07	1,86E-06	1,59E-05
Rodeio Bonito	7,36E-07	1,63E-05	1,86E-08	2,32E-06	1,53E-06	1,57E-06	1,61E-05
Seberi	2,06E-07	4,59E-06	1,56E-08	1,94E-06	1,56E-06	5,98E-07	1,43E-05
Taquaruçu do Sul	2,36E-07	5,24E-06	6,78E-09	8,42E-07	3,40E-07	8,40E-07	5,32E-06
Tenente Portela	6,96E-07	1,55E-05	3,11E-08	3,86E-06	4,49E-07	6,92E-07	5,02E-06
Tiradentes do Sul	1,81E-06	4,02E-05	2,32E-08	2,88E-06	1,37E-07	1,14E-06	1,52E-05
Três Passos	6,04E-07	1,34E-05	1,50E-08	1,87E-06	1,55E-07	4,84E-07	1,81E-06
Vicente Dutra	1,09E-06	2,42E-05	9,45E-09	1,17E-06	6,87E-07	2,71E-06	8,34E-06
Vista Alegre	4,72E-07	1,05E-05	6,91E-09	8,59E-07	1,85E-07	9,87E-07	2,49E-06
Vista Gaúcha	3,17E-07	7,04E-06	3,19E-08	3,97E-06	1,01E-07	4,16E-07	4,13E-06

*NC: Não carcinogênico, C: Carcinogênico.

Fonte: Autor, 2022.

A análise de risco, indica que a única substância classificada como carcinogênica (atrazina), teve baixo risco à saúde do trabalhador rural por contato dérmico (Tabela 10), não ultrapassando 1,0E-06, sendo que o maior risco ocorre em Vista Gaúcha com 3,19E-08 (Tabela 10).

Em relação às substâncias não carcinogênicas (glifosato, dicloreto de paraquate, mancozebe, 2,4-D e acefato), nenhum dos municípios apresentou risco à saúde do trabalhador rural maior que 1, não podendo, portanto, caracterizar que essas substâncias podem causar risco

à saúde humana através de contato dérmico com o solo. A atrazina ainda pode ter efeitos não carcinogênicos, porém seu resultado foi abaixo de 1, não caracterizando risco.

Tabela 11 - Risco à saúde humana do trabalhador rural no ambiente de trabalho, por ingestão de solo contendo agrotóxico, considerando a aplicação única do produto (Cenário I).

Risco à saúde humana do trabalhador rural por ingestão de solo superficial.							
Municípios do Rio Grande do Sul	Glifosato	Dicloreto de Paraquate	Atrazina		Mancozebe	2,4 - D	Acefato
	NC	NC	C	NC	NC	NC	NC
Alpestre	3,79E-06	8,42E-05	1,10E-08	1,36E-06	2,24E-06	2,56E-06	2,95E-05
Ametista do Sul	1,07E-06	2,37E-05	6,62E-09	8,22E-07	1,62E-06	2,84E-07	1,21E-06
Barra do Guarita	6,79E-07	1,51E-05	1,73E-08	2,15E-06	3,03E-07	2,67E-06	8,15E-06
Bom Progresso	9,59E-07	2,13E-05	2,13E-08	2,65E-06	1,61E-06	1,71E-06	1,67E-05
Caiçara	2,33E-06	5,17E-05	2,58E-08	3,20E-06	8,72E-07	4,53E-06	2,24E-05
Cristal do Sul	3,72E-07	8,28E-06	1,29E-08	1,60E-06	4,82E-07	1,79E-06	1,16E-05
Derrubadas	2,63E-06	5,83E-05	5,55E-08	6,89E-06	1,80E-06	1,24E-06	5,79E-06
Erval Seco	6,22E-07	1,38E-05	3,47E-08	4,31E-06	2,14E-06	1,11E-06	2,22E-05
Esperança do Sul	4,47E-06	9,94E-05	3,06E-08	3,80E-06	7,04E-07	4,21E-06	1,80E-05
Frederico Westphalen	3,54E-06	7,86E-05	6,20E-08	7,71E-06	1,36E-06	5,76E-06	1,62E-05
Iraí	2,19E-06	4,86E-05	3,19E-08	3,96E-06	3,04E-07	5,04E-06	1,40E-05
Liberato Salzano	2,26E-06	5,03E-05	6,78E-08	8,42E-06	6,11E-07	2,71E-06	3,00E-05
Novo Tiradentes	1,82E-06	4,05E-05	6,44E-08	8,00E-06	3,09E-06	3,53E-06	5,46E-05
Palmitinho	3,80E-06	8,44E-05	2,74E-08	3,40E-06	2,88E-07	4,68E-06	2,88E-06
Pinhal	2,46E-06	5,46E-05	4,73E-08	5,88E-06	4,96E-06	6,10E-06	3,12E-05
Pinheirinho do Vale	3,71E-06	8,24E-05	3,83E-08	4,76E-06	1,51E-06	4,41E-06	3,78E-05
Rodeio Bonito	1,74E-06	3,87E-05	4,42E-08	5,49E-06	3,63E-06	3,72E-06	3,82E-05
Seberi	4,89E-07	1,09E-05	3,70E-08	4,60E-06	3,70E-06	1,42E-06	3,39E-05
Taquaruçu do Sul	5,59E-07	1,24E-05	1,61E-08	2,00E-06	8,05E-07	1,99E-06	1,26E-05
Tenente Portela	1,65E-06	3,66E-05	7,36E-08	9,15E-06	1,06E-06	1,64E-06	1,19E-05
Tiradentes do Sul	4,29E-06	9,54E-05	5,50E-08	6,83E-06	3,24E-07	2,69E-06	3,59E-05
Três Passos	1,43E-06	3,18E-05	3,56E-08	4,42E-06	3,67E-07	1,15E-06	4,30E-06
Vicente Dutra	2,58E-06	5,74E-05	2,24E-08	2,78E-06	1,63E-06	6,41E-06	1,98E-05
Vista Alegre	1,12E-06	2,49E-05	1,64E-08	2,04E-06	4,38E-07	2,34E-06	5,91E-06
Vista Gaúcha	7,51E-07	1,67E-05	7,57E-08	9,40E-06	2,38E-07	9,87E-07	9,79E-06

*NC: Não carcinogênico, C: Carcinogênico.

Fonte: Autor, 2022.

Analisando os resultados encontrados para a substância carcinogênica (atrazina), pode-se verificar que o risco encontrado foi inferior ao nível aceitável ($1,0E-6$), sendo que o maior risco à saúde do trabalhador rural por ingestão de solo superficial após a aplicação única de atrazina foi em Vista Gaúcha, com risco de $7,57E-08$ (Tabela 11).

A presença de substâncias não carcinogênicas (glifosato, dicloreto de paraquate, mancozebe, 2,4-D e acefato) em solo agrícola, não indicaram risco superior a 1 em nenhum dos municípios para o cenário de ingestão. Além disso, para a atrazina também é calculado o risco não carcinogênico e em todos os municípios o valor encontrado foi abaixo de 1. Com isso, nenhuma das substâncias apresentou risco a saúde a partir de ingestão de solo superficial.

Tabela 12 - Risco à saúde humana do trabalhador rural no ambiente de trabalho, por inalação de solo contendo agrotóxico, considerando a aplicação única do produto (Cenário I).

(continua)

Risco à saúde humana do trabalhador rural por inalação de solo superficial contendo agrotóxico							
Municípios do Rio Grande do Sul	Glifosato	Dicloreto de Paraquate	Atrazina		Mancozebe	2,4 - D	Acefato
	NC	NC	C	NC	NC	NC	NC
Alpestre	3,64E-01	8,08E+00	1,05E-03	1,31E-01	2,15E-01	2,46E-01	2,83E+00
Ametista do Sul	1,02E-01	2,27E+00	6,35E-04	7,89E-02	1,56E-01	2,73E-02	1,16E-01
Barra do Guarita	6,51E-02	1,45E+00	1,66E-03	2,06E-01	2,90E-02	2,57E-01	7,82E-01
Bom Progresso	9,20E-02	2,04E+00	2,04E-03	2,54E-01	1,55E-01	1,64E-01	1,61E+00
Caçara	2,23E-01	4,96E+00	2,47E-03	3,07E-01	8,37E-02	4,35E-01	2,15E+00
Cristal do Sul	3,57E-02	7,94E-01	1,23E-03	1,53E-01	4,62E-02	1,71E-01	1,12E+00
Derrubadas	2,52E-01	5,60E+00	5,32E-03	6,61E-01	1,72E-01	1,19E-01	5,55E-01
Erval Seco	5,96E-02	1,33E+00	3,33E-03	4,13E-01	2,05E-01	1,06E-01	2,13E+00
Esperança do Sul	4,29E-01	9,53E+00	2,93E-03	3,65E-01	6,75E-02	4,04E-01	1,73E+00
Frederico Westphalen	3,39E-01	7,54E+00	5,95E-03	7,39E-01	1,30E-01	5,52E-01	1,55E+00
Iraí	2,10E-01	4,66E+00	3,06E-03	3,80E-01	2,92E-02	4,84E-01	1,35E+00
Liberato Salzano	2,17E-01	4,83E+00	6,51E-03	8,08E-01	5,86E-02	2,60E-01	2,88E+00
Novo Tiradentes	1,75E-01	3,89E+00	6,18E-03	7,68E-01	2,96E-01	3,39E-01	5,24E+00
Palmitinho	3,64E-01	8,10E+00	2,62E-03	3,26E-01	2,77E-02	4,49E-01	2,76E-01
Pinhal	2,36E-01	5,23E+00	4,54E-03	5,64E-01	4,76E-01	5,85E-01	3,00E+00
Pinheirinho do Vale	3,56E-01	7,90E+00	3,67E-03	4,56E-01	1,45E-01	4,24E-01	3,62E+00
Rodeio Bonito	1,67E-01	3,72E+00	4,24E-03	5,27E-01	3,48E-01	3,57E-01	3,66E+00
Seberi	4,69E-02	1,04E+00	3,55E-03	4,41E-01	3,55E-01	1,36E-01	3,25E+00
Taquaruçu do Sul	5,36E-02	1,19E+00	1,54E-03	1,91E-01	7,72E-02	1,91E-01	1,21E+00
Tenente Portela	1,58E-01	3,51E+00	7,06E-03	8,78E-01	1,02E-01	1,57E-01	1,14E+00

Tabela 12 - Risco à saúde humana do trabalhador rural no ambiente de trabalho, por inalação de solo contendo agrotóxico, considerando a aplicação única do produto (Cenário I).

(conclusão)

Risco à saúde humana do trabalhador rural por inalação de solo superficial contendo agrotóxico							
Municípios do Rio Grande do Sul	Glifosato	Dicloreto de Paraquate	Atrazina		Mancozebe	2,4 - D	Acefato
	NC	NC	C	NC	NC	NC	NC
Tiradentes do Sul	4,12E-01	9,15E+00	5,27E-03	6,55E-01	3,11E-02	2,58E-01	3,44E+00
Três Passos	1,37E-01	3,05E+00	3,42E-03	4,24E-01	3,52E-02	1,10E-01	4,13E-01
Vicente Dutra	2,48E-01	5,51E+00	2,15E-03	2,67E-01	1,56E-01	6,15E-01	1,90E+00
Vista Alegre	1,07E-01	2,39E+00	1,57E-03	1,95E-01	4,20E-02	2,24E-01	5,67E-01
Vista Gaúcha	7,20E-02	1,60E+00	7,26E-03	9,02E-01	2,29E-02	9,46E-02	9,39E-01

*NC: Não carcinogênico, C: Carcinogênico.

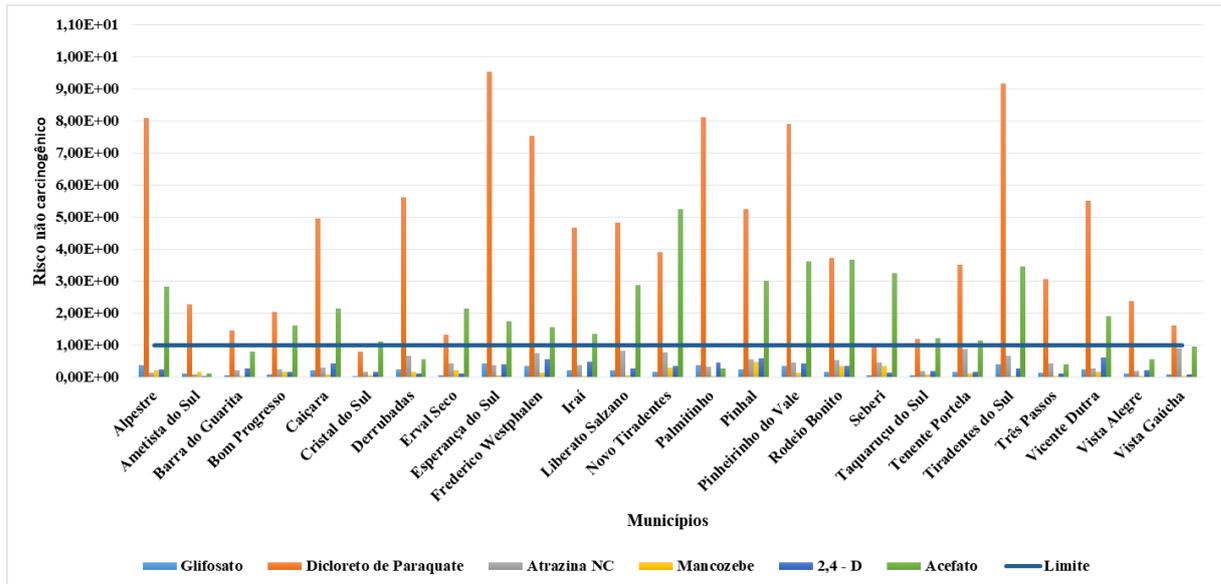
*Valores em negrito estão acima do limite estipulado para risco (para efeito carcinogênico considera-se risco quando acima de 10^{-6} (MACHADO et al., 2018; FAN et al., 2010; HAN et al., 2016 e CERBARO et al., 2021), para efeito não carcinogênico considera-se risco quando acima de 1 (ABNT, 2013)).

Fonte: Autor, 2022.

Embora a atrazina seja classificada pela ANVISA como Classe III – Medianamente tóxico (BRASIL, 2019a), a USEPA considera esse produto como carcinogênico para humanos (USEPA, 2019). Dessa forma, os riscos carcinogênicos por inalação de solo superficial contendo atrazina foram superiores aos riscos por contato dérmico e ingestão. Todos os municípios apresentaram risco maior do que o limite indicado (10^{-6}), podendo dizer que em todos os municípios os trabalhadores rurais têm risco carcinogênico na atividade de trabalho agrícola por inalação de solo superficial contendo a aplicação única (Cenário I) do agrotóxico atrazina. O maior risco encontrado foi em Vista Gaúcha com $7,26 \times 10^{-3}$, seguido por Tenente Portela com $7,06 \times 10^{-3}$ (Tabela 12).

Em relação às substâncias não carcinogênicas, pôde ser constatado o risco à saúde do trabalhador rural por inalação de solo contendo dicloreto de paraquate em todos os municípios avaliados, exceto Cristal do Sul, onde o risco foi de $7,94 \times 10^{-1}$, estando próximo do limite indicado (Tabela 12 e Figura 13). O valor mais elevado de risco em relação a essa SQI foi em Esperança do Sul, com 9,53. Vaccari et al. (2017) apresentaram em revisão sistemática que esse agrotóxico tem relação com a Doença de Parkinson (DP), confirmando associações positivas para a intoxicação.

Figura 13 – Risco não carcinogênico à saúde humana do trabalhador rural, no ambiente de trabalho e limite de risco estipulado para as SQI, considerando o cenário de exposição de inalação (Cenário I - Aplicação única).



Fonte: Autor, 2022.

No Brasil, a ANVISA decidiu pelo banimento da comercialização e uso do herbicida paraquat a partir de 2020 com base nas evidências disponíveis em estudos experimentais e epidemiológicos, que sugerem que o herbicida está associado ao desenvolvimento da DP (VASCONCELLOS et al., 2020). O que a ANVISA alega é que, mesmo o produto sendo utilizado em níveis aceitáveis, pode induzir a doença, não sendo possível determinar que a dose efetivamente aplicada esteja em um limite seguro, visto que a DP é uma doença grave e irreversível (VASCONCELLOS et al., 2020).

Para a SQI acefato também ocorre risco de inalação a partir do solo superficial, nos municípios de Alpestre (2,83), Bom Progresso (1,61), Caiçara (2,15), Cristal do Sul (1,12), Erval Seco (2,13), Esperança do Sul (1,73), Frederico Westphalen (1,55), Iraí (1,35), Liberato Salzano (2,88), Novo Tiradentes (5,24), Pinhal (3,00), Pinheirinho do Vale (3,62), Rodeio Bonito (3,66), Seberi (3,25), Taquaruçu do Sul (1,24), Tenente Portela (1,14), Tiradentes do Sul (3,44) e Vicente Dutra (1,90).

O Acefato passou por um processo de avaliação pelo Ministério da Saúde, no Brasil por meio da ANVISA, que emitiu uma nota técnica após avaliação do ingrediente ativo (BRASIL, 2009). Segundo essa nota, exposições ao acefato, pode desencadear uma condição/quadro conhecido como síndrome intermediária que se caracteriza pela fraqueza dos músculos respiratórios, diminuição da força dos músculos do pescoço e das extremidades proximais dos membros (BRASIL, 2009). Além disso, esses sintomas aparecem algumas horas após o início

dos sintomas de hiperestimulação colinérgica, mais conhecida como intoxicação aguda (BRASIL, 2009).

Devido as suspeitas de neurotoxicidade e carcinogenicidade, o uso do acefato tem sido alvo de restrições em vários países da União Europeia (BOMBARDI, 2017). As demais substâncias não carcinogênicas não apresentaram valores que caracterizem risco à saúde da população por ingestão de solo superficial, porém no Município de Vista Gaúcha o risco não carcinogênico para atrazina (de 0,902) ficou muito próximo (0,10) do limite estipulado. Liberato Salzano também apresentou limite próximo de 1 para essa SQI (0,808), devendo ficar em alerta para possíveis riscos à saúde do trabalhador rural nos próximos anos.

Nos municípios que apresentaram risco à saúde do trabalhador rural por inalação de solo superficial, as concentrações de aplicação das SQI em mg/kg foram superiores do que nos que não se observa risco, indicando a possibilidade de aplicação do SQI em quantidade superior ao recomendado.

Além disso, foram aplicadas as equações 10, 11, 12, 14, 15 e 16, para o cálculo do risco total, considerando múltiplas SQI (diversos agrotóxicos) e mais de um cenário de exposição (que inclui a exposição por contato dérmico, por ingestão e por inalação de solo superficial). O risco à saúde do trabalhador rural, combinando múltiplas SQI e múltiplos cenários de exposição, por município, para a aplicação total do produto uma única vez (Tabela 13).

Tabela 13 – Risco à saúde do trabalhador rural, combinando múltiplas SQI e múltiplos cenários de exposição (contato dérmico, ingestão e inalação), por município, para o Cenário I (aplicação em dose única).

(continua)

Municípios	Risco total não carcinogênico	Risco total carcinogênico
Alpestre	2,37E+01	2,10E-03
Ametista do Sul	5,51E+00	1,27E-03
Barra do Guarita	5,57E+00	3,31E-03
Bom Progresso	8,63E+00	4,09E-03
Caiçara	1,63E+01	4,95E-03
Cristal do Sul	4,63E+00	2,47E-03
Derrubadas	1,47E+01	1,06E-02
Erval Seco	8,49E+00	6,65E-03
Esperança do Sul	2,51E+01	5,87E-03
Frederico Westphalen	2,17E+01	1,19E-02
Iraí	1,42E+01	6,12E-03
Liberato Salzano	1,81E+01	1,30E-02
Novo Tiradentes	2,14E+01	1,24E-02
Palmitinho	1,91E+01	5,25E-03
Pinhal	2,02E+01	9,08E-03
Pinheirinho do Vale	2,58E+01	7,35E-03
Rodeio Bonito	1,76E+01	8,48E-03
Seberi	1,06E+01	7,10E-03

Tabela 13- Risco à saúde do trabalhador rural, combinando múltiplas SQI e múltiplos cenários de exposição (contato dérmico, ingestão e inalação), por município, para o Cenário I (aplicação em dose única).

(conclusão)

Municípios	Risco total não carcinogênico	Risco total carcinogênico
Taquaruçu do Sul	5,83E+00	3,08E-03
Tenente Portela	1,19E+01	1,41E-02
Tiradentes do Sul	2,79E+01	1,05E-02
Três Passos	8,35E+00	6,83E-03
Vicente Dutra	1,74E+01	4,30E-03
Vista Alegre	7,05E+00	3,14E-03
Vista Gaúcha	7,26E+00	1,45E-02

Fonte: Autor (2022).

Com esses dados, pode-se dizer que todos os municípios estudados tiveram risco não carcinogênico, ou seja para as SQI glifosato, dicloreto de paraquate, mancozebe, 2,4-D e acefato. Constata-se que a maioria desse risco vem da via de exposição por inalação de solo com agrotóxico, porém, para chegar nesse resultado foram somados os riscos à saúde obtidos pelas três vias de exposição de todas as SQI's. Entre os municípios estudados, Tiradentes do Sul foi o que obteve maior risco não carcinogênico com o valor de 27,9, seguido por Pinheirinho do Vale com 25,8 e Esperança do Sul com 25,1 (Tabela 13).

A única substância classificada como carcinogênica, avaliada neste estudo, é a atrazina. Em relação ao risco total carcinogênico, todos os municípios apresentaram risco visto que, todos estiveram com valores acima de 1E-06. Assim como no caso de risco não carcinogênico, a maioria do risco vem da via de exposição por inalação, porém isso não descaracteriza o risco total de intoxicações pela SQI carcinogênica. Os municípios onde se obteve os maiores resultados de risco carcinogênico são Vista Gaúcha com 0,0145, Tenente Portela 0,0141 e Liberato Salzano com 0,0130 (Tabela 13).

4.3.2 Risco de contaminação com múltiplas aplicações no solo (Cenário II).

Num segundo cenário (Cenário II), considerou-se mais de uma aplicação de cada SQI. Ou seja, foram divididas as aplicações do produto conforme a recomendação das bulas correspondentes, sendo assim, as concentrações resultantes foram estimadas considerando a quantidade do agrotóxico utilizada em cada aplicação (Tabela 14).

Tabela 14 - Concentração das SQI em solo superficial considerando a quantidade do agrotóxico utilizada em cada aplicação segundo recomendação da respectiva bula – Cenário II (múltiplas aplicações).

Municípios do Rio Grande do Sul	Concentrações de SQI em cada aplicação no solo					
	¹ Glifosato (mg/kg)	² Dicloreto de Paraquate (mg/kg)	³ Atrazina (mg/kg)	⁴ Mancozebe (mg/kg)	⁵ 2,4-D (mg/kg)	⁶ Acefato (mg/kg)
Alpestre	0,137	0,014	0,034	0,015	0,018	0,013
Ametista do Sul	0,040	0,007	0,021	0,011	0,002	0,001
Barra do Guarita	0,026	0,024	0,054	0,002	0,019	0,004
Bom Progresso	0,039	0,014	0,067	0,012	0,012	0,007
Caçara	0,085	0,011	0,081	0,006	0,033	0,010
Cristal do Sul	0,015	0,006	0,040	0,003	0,013	0,005
Derrubadas	0,105	0,036	0,174	0,013	0,009	0,003
Erval Seco	0,024	0,008	0,108	0,015	0,008	0,010
Esperança do Sul	0,174	0,045	0,096	0,005	0,030	0,008
Frederico Westphalen	0,133	0,014	0,194	0,010	0,041	0,007
Iraí	0,081	0,011	0,100	0,002	0,036	0,006
Liberato Salzano	0,092	0,022	0,212	0,004	0,019	0,013
Novo Tiradentes	0,077	0,015	0,201	0,022	0,025	0,024
Palmitinho	0,142	0,013	0,086	0,002	0,034	0,001
Pinhal	0,100	0,036	0,148	0,035	0,044	0,014
Pinheirinho do Vale	0,134	0,013	0,120	0,011	0,032	0,016
Rodeio Bonito	0,067	0,008	0,138	0,026	0,027	0,017
Seberi	0,020	0,008	0,116	0,026	0,010	0,015
Taquaruçu do Sul	0,021	0,006	0,050	0,006	0,014	0,005
Tenente Portela	0,070	0,049	0,230	0,008	0,012	0,005
Tiradentes do Sul	0,174	0,026	0,172	0,002	0,019	0,016
Três Passos	0,058	0,016	0,111	0,003	0,008	0,002
Vicente Dutra	0,097	0,012	0,070	0,011	0,046	0,009
Vista Alegre	0,043	0,008	0,051	0,003	0,017	0,003
Vista Gaúcha	0,028	0,018	0,237	0,002	0,007	0,004

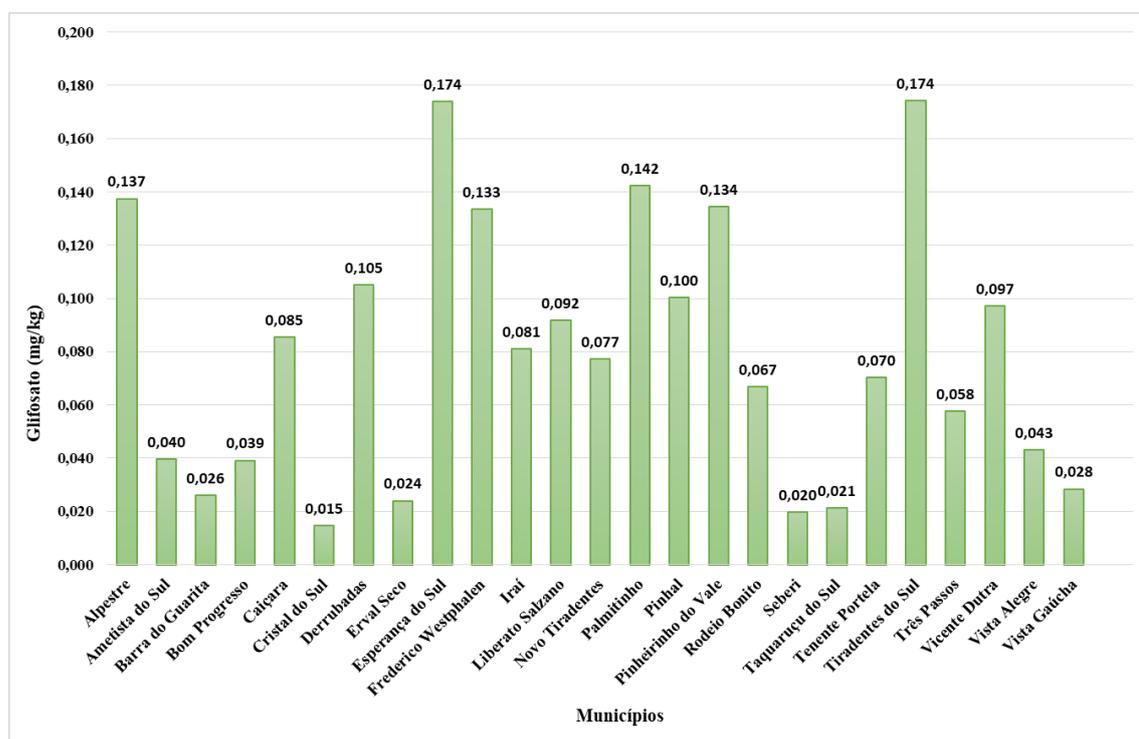
*¹ máximo 2 aplicações para soja e milho, 1 aplicação para trigo e cana-de-açúcar; ²máximo 2 aplicações para soja, milho, trigo, feijão e cana-de-açúcar; ³somente 1 aplicação para todas as culturas que é utilizado; ⁴ máximo 3 aplicações para soja, milho, fumo, trigo e aveia, 4 aplicações para feijão; ⁵ somente 1 aplicação para todas as culturas que é utilizado; ⁶ máximo 2 aplicações para soja e milho, 1 aplicação para feijão.

Fonte: Autor (2022).

Nesse segundo cenário (Cenário II) foi avaliada a presença da SQI no solo considerando que ocorre mais de uma aplicação e, portanto, o produto aplicado foi dividido pelo número de aplicações indicadas para cada cultura. As concentrações em solo, portanto, foram inferiores às obtidas no Cenário I (uma única aplicação com 100,00 % do produto).

Entre os agrotóxicos estudados, o glifosato teve maior concentração nos municípios de Tiradentes do Sul e Esperança do Sul (ambos com 0,174 mg/kg), Palmitinho (com 0,142 mg/kg) e Alpestre (com 0,137 mg/kg) (Tabela 14 e Figura 14).

Figura 14 - Concentrações de glifosato em solo superficial agrícola por aplicação, considerando múltiplas aplicações (Cenário II).



Fonte: Autor (2022).

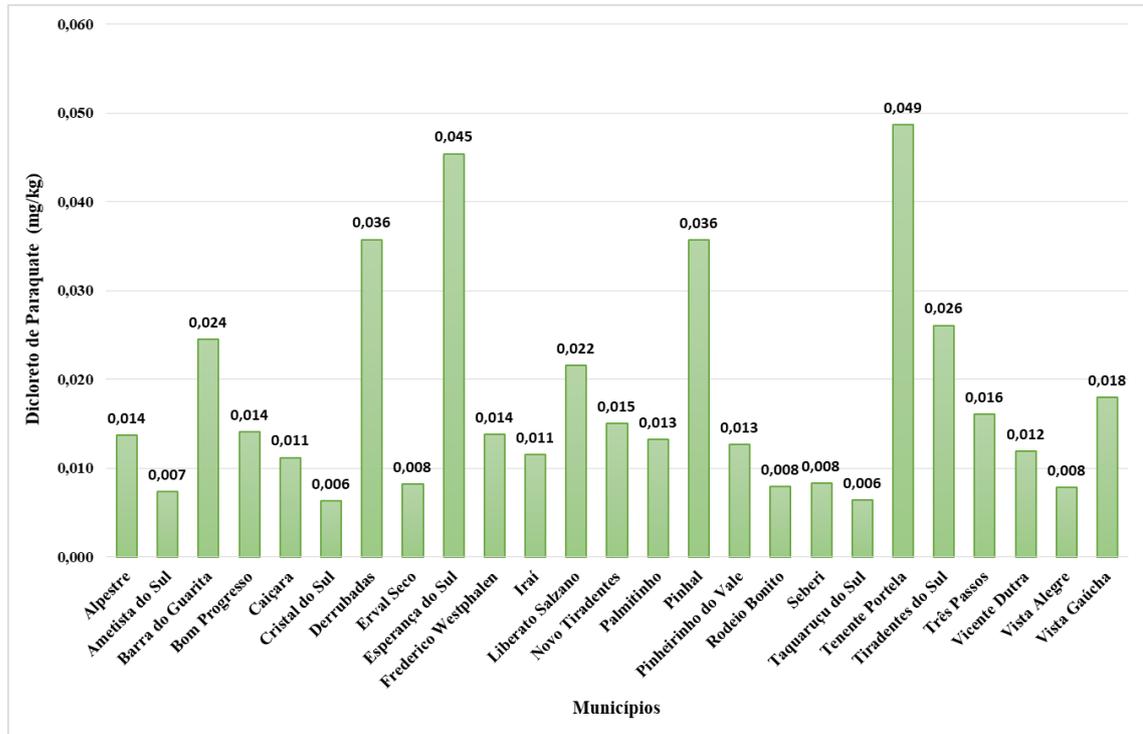
O herbicida dicloreto de paraquate foi encontrado em concentrações abaixo de 0,05 mg/kg em todos os municípios. As concentrações mais elevadas do dicloreto de paraquate em solo foram estimadas para Tenente Portela (0,049 mg/kg), Esperança do Sul (0,045 mg/kg), Pinhal e Derrubadas (ambos com 0,036 mg/kg) (Tabela 14 e Figura 15).

A atrazina é um herbicida que, segundo as recomendações da sua bula, não deve ser aplicado com repetições. Dessa forma, as concentrações estimadas do produto em solo agrícola foram as mesmas que as do Cenário I (aplicação única) (Tabela 14 e Figura 9).

Assim como a atrazina, o 2,4-D é um herbicida que, segundo as recomendações de seu fabricante, não deve ser aplicado com repetições. Assim, as concentrações estimadas também foram as mesmas que as do Cenário I (aplicação única), conforme a Tabela 14 e Figura 11).

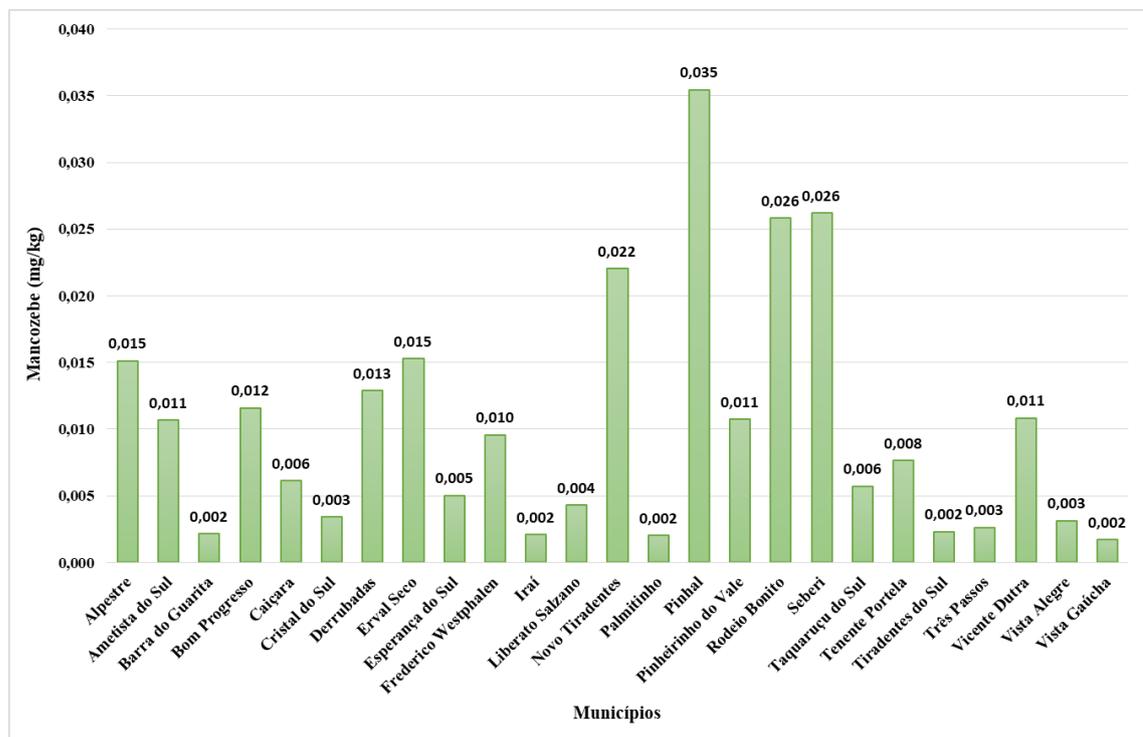
Já o mancozebe foi encontrado principalmente nos municípios de Pinhal (0,035mg/kg), Seberi e Rodeio Bonito, ambos com 0,026 mg/kg (Tabela 14 e Figura 16).

Figura 15 - Concentrações de dicloreto de paraquate em solo superficial agrícola por aplicação, considerando múltiplas aplicações (Cenário II).



Fonte: Autor (2022).

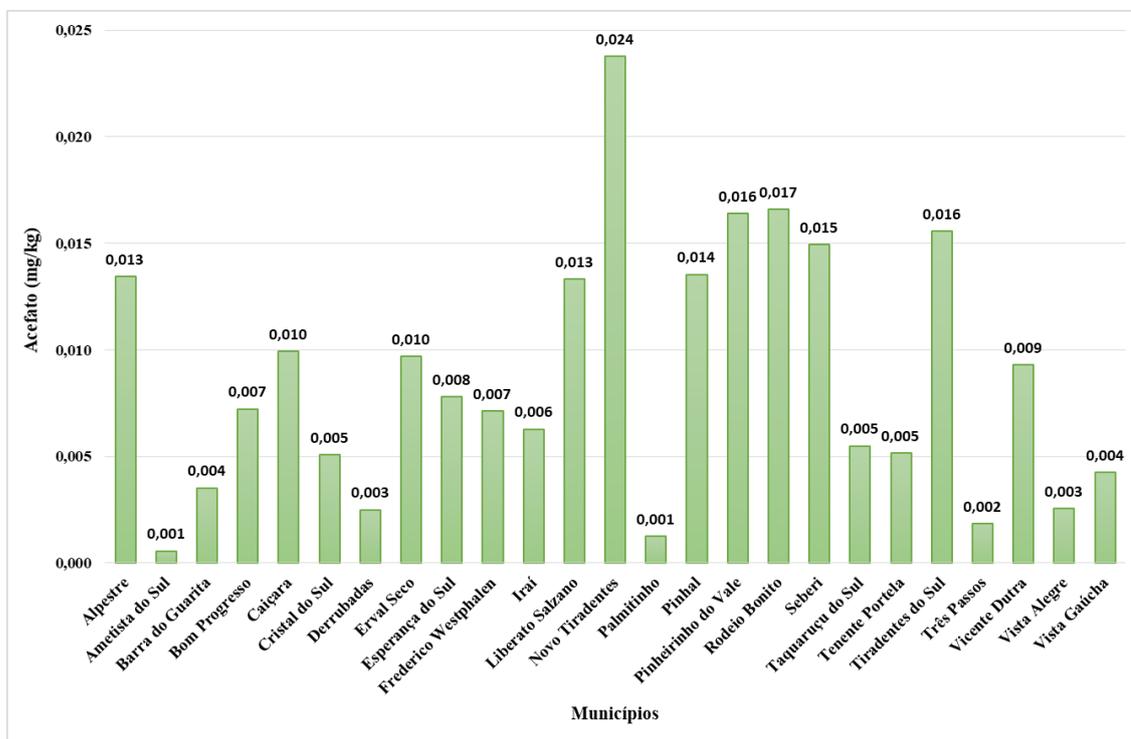
Figura 16 - Concentrações de mancozebe em solo superficial agrícola por aplicação, considerando múltiplas aplicações (Cenário II).



Fonte: Autor (2022).

O inseticida acefato, com base nas na Tabela 14 e Figura 17, obteve maior concentração estimada nos municípios de Novo Tiradentes (0,024 mg/kg) e Rodeio Bonito (0,017 mg/kg).

Figura 17 - Concentrações de acefato em solo superficial agrícola por aplicação, considerando múltiplas aplicações (Cenário II).



Fonte: Autor (2022).

Pode-se perceber que, os mesmos municípios tiveram as maiores concentrações nos dois cenários analisados, porém, no Cenário II a concentração foi menor, pelo fato de que foi realizada a divisão da quantidade de produto total pela quantidade de vezes que ele foi aplicado.

4.3.2.1 Quantificação de risco para o Cenário II (múltiplas aplicações)

Assim como no Cenário I, das seis SQI selecionadas apenas a atrazina apresenta potencial carcinogênico segundo a USEPA (USEPA, 2019), as outras cinco substâncias estão classificadas como não carcinogênicas (Tabela 7). Foram aplicadas as equações de ingresso e de risco para os 3 cenários de exposição (dérmico, ingestão e inalação) considerando os dados de concentração das SQI apresentados na Tabela 14. Os resultados encontrados estão a apresentados nas Tabelas 15, 16 e 17, respectivamente.

Tabela 15 – Risco à saúde do trabalhador rural pela presença de agrotóxicos no solo considerando o cenário de exposição de contato dérmico – Cenário II (múltiplas aplicações).

Risco para contato dérmico							
Municípios do Rio Grande do Sul	Glifosato	Dicloreto de Paraquate	Atrazina		Mancozebe	2,4 - D	Acefato
	NC	NC	C	NC	NC	NC	NC
Alpestre	8,06E-07	1,79E-06	4,62E-09	5,74E-07	2,96E-07	1,08E-06	6,58E-06
Ametista do Sul	2,33E-07	9,60E-07	2,79E-09	3,47E-07	4,00E-08	1,20E-07	2,74E-07
Barra do Guarita	1,53E-07	3,19E-06	7,29E-09	9,05E-07	3,76E-07	1,13E-06	1,72E-06
Bom Progresso	2,30E-07	1,84E-06	8,99E-09	1,12E-06	2,41E-07	7,22E-07	3,54E-06
Caiçara	5,02E-07	1,46E-06	1,09E-08	1,35E-06	6,37E-07	1,91E-06	4,85E-06
Cristal do Sul	8,59E-08	8,17E-07	5,43E-09	6,75E-07	2,51E-07	7,54E-07	2,48E-06
Derrubadas	6,17E-07	4,66E-06	2,34E-08	2,91E-06	1,74E-07	5,22E-07	1,22E-06
Erval Seco	1,41E-07	1,07E-06	1,46E-08	1,82E-06	1,56E-07	4,67E-07	4,74E-06
Esperança do Sul	1,02E-06	5,92E-06	1,29E-08	1,60E-06	5,92E-07	1,78E-06	3,82E-06
Frederico Westphalen	7,83E-07	1,80E-06	2,62E-08	3,25E-06	8,10E-07	2,43E-06	3,49E-06
Iraí	4,75E-07	1,50E-06	1,35E-08	1,67E-06	7,09E-07	2,13E-06	3,07E-06
Liberato Salzano	5,38E-07	2,81E-06	2,86E-08	3,55E-06	3,81E-07	1,14E-06	6,51E-06
Novo Tiradentes	4,54E-07	1,96E-06	2,72E-08	3,38E-06	4,97E-07	1,49E-06	1,16E-05
Palmitinho	8,36E-07	1,72E-06	1,15E-08	1,43E-06	6,58E-07	1,98E-06	6,17E-07
Pinhal	5,88E-07	4,65E-06	2,00E-08	2,48E-06	8,57E-07	2,57E-06	6,62E-06
Pinheirinho do Vale	7,89E-07	1,65E-06	1,62E-08	2,01E-06	6,21E-07	1,86E-06	8,02E-06
Rodeio Bonito	3,91E-07	1,03E-06	1,86E-08	2,32E-06	5,23E-07	1,57E-06	8,12E-06
Seberi	1,16E-07	1,08E-06	1,56E-08	1,94E-06	1,99E-07	5,98E-07	7,30E-06
Taquaruçu do Sul	1,24E-07	8,36E-07	6,78E-09	8,42E-07	2,80E-07	8,40E-07	2,69E-06
Tenente Portela	4,12E-07	6,35E-06	3,11E-08	3,86E-06	2,31E-07	6,92E-07	2,52E-06
Tiradentes do Sul	1,02E-06	3,40E-06	2,32E-08	2,88E-06	3,79E-07	1,14E-06	7,62E-06
Três Passos	3,38E-07	2,10E-06	1,50E-08	1,87E-06	1,61E-07	4,84E-07	9,09E-07
Vicente Dutra	5,70E-07	1,55E-06	9,45E-09	1,17E-06	9,02E-07	2,71E-06	4,54E-06
Vista Alegre	2,53E-07	1,02E-06	6,91E-09	8,59E-07	3,29E-07	9,87E-07	1,25E-06
Vista Gaúcha	1,67E-07	2,34E-06	3,19E-08	3,97E-06	1,39E-07	4,16E-07	2,07E-06

*NC: Não carcinogênico, C: Carcinogênico.

Fonte: Autor (2022).

Após os cálculos de risco para o Cenário II, considerando que a atrazina, única substância carcinogênica entre as seis SQI estudadas, tem aplicação única, o risco à saúde do trabalhador rural foi o mesmo que no cenário I. Dessa forma esse herbicida continua não apresentando risco à saúde por contato dérmico com o solo superficial (Tabela 15).

Se tratando das substâncias não carcinogênicas (glifosato, dicloreto de paraquate, mancozebe, 2,4-D e acefato), não foi encontrado risco à saúde por contato dérmico com o solo em nenhum dos municípios analisados para essas SQI. A atrazina, mesmo sendo carcinogênica ainda pode apresentar efeitos não carcinogênicos, porém essa não apresentou risco à saúde por contato dérmico com o solo superficial. O 2,4 D também é utilizado em aplicação única sendo assim encontrado mesmo risco à saúde que no cenário I.

Tabela 16 - Risco à saúde do trabalhador rural pela presença de agrotóxicos no solo considerando o cenário de exposição de ingestão – Cenário II (múltiplas aplicações).

(continua)

Risco à saúde do trabalhador rural por ingestão.							
Municípios do Rio Grande do Sul	Glifosato	Dicloreto de Paraquate	Atrazina		Mancozebe	2,4 - D	Acefato
	NC	NC	C	NC	NC	NC	NC
Alpestre	1,91E-06	4,24E-06	1,10E-08	1,36E-06	7,02E-07	2,56E-06	1,56E-05
Ametista do Sul	5,52E-07	2,28E-06	6,62E-09	8,22E-07	4,95E-07	2,84E-07	6,50E-07
Barra do Guarita	3,63E-07	7,56E-06	1,73E-08	2,15E-06	1,01E-07	2,67E-06	4,08E-06
Bom Progresso	5,45E-07	4,35E-06	2,13E-08	2,65E-06	5,38E-07	1,71E-06	8,38E-06
Caiçara	1,19E-06	3,46E-06	2,58E-08	3,20E-06	2,84E-07	4,53E-06	1,15E-05
Cristal do Sul	2,03E-07	1,94E-06	1,29E-08	1,60E-06	1,59E-07	1,79E-06	5,87E-06
Derrubadas	1,46E-06	1,10E-05	5,55E-08	6,89E-06	5,98E-07	1,24E-06	2,90E-06
Erval Seco	3,34E-07	2,54E-06	3,47E-08	4,31E-06	7,08E-07	1,11E-06	1,12E-05
Esperança do Sul	2,42E-06	1,40E-05	3,06E-08	3,80E-06	2,34E-07	4,21E-06	9,06E-06
Frederico Westphalen	1,86E-06	4,27E-06	6,20E-08	7,71E-06	4,44E-07	5,76E-06	8,28E-06
Iraí	1,13E-06	3,55E-06	3,19E-08	3,96E-06	9,81E-08	5,04E-06	7,29E-06
Liberato Salzano	1,28E-06	6,66E-06	6,78E-08	8,42E-06	2,00E-07	2,71E-06	1,54E-05
Novo Tiradentes	1,08E-06	4,64E-06	6,44E-08	8,00E-06	1,02E-06	3,53E-06	2,76E-05
Palmitinho	1,98E-06	4,08E-06	2,74E-08	3,40E-06	9,46E-08	4,68E-06	1,46E-06
Pinhal	1,39E-06	1,10E-05	4,73E-08	5,88E-06	1,64E-06	6,10E-06	1,57E-05
Pinheirinho do Vale	1,87E-06	3,90E-06	3,83E-08	4,76E-06	4,99E-07	4,41E-06	1,90E-05
Rodeio Bonito	9,28E-07	2,44E-06	4,42E-08	5,49E-06	1,20E-06	3,72E-06	1,92E-05
Seberi	2,75E-07	2,57E-06	3,70E-08	4,60E-06	1,21E-06	1,42E-06	1,73E-05
Taquaruçu do Sul	2,95E-07	1,98E-06	1,61E-08	2,00E-06	2,66E-07	1,99E-06	6,37E-06
Tenente Portela	9,77E-07	1,50E-05	7,36E-08	9,15E-06	3,54E-07	1,64E-06	5,96E-06
Tiradentes do Sul	2,42E-06	8,06E-06	5,50E-08	6,83E-06	1,08E-07	2,69E-06	1,81E-05
Três Passos	8,00E-07	4,97E-06	3,56E-08	4,42E-06	1,22E-07	1,15E-06	2,15E-06

Tabela 16 - Risco à saúde do trabalhador rural pela presença de agrotóxicos no solo considerando o cenário de exposição de ingestão – Cenário II (múltiplas aplicações).

(conclusão)

Risco à saúde do trabalhador rural por ingestão.							
Municípios do Rio Grande do Sul	Glifosato	Dicloreto de Paraquate	Atrazina		Mancozebe	2,4 - D	Acefato
	NC	NC	C	NC	NC	NC	NC
Vicente Dutra	1,35E-06	3,67E-06	2,24E-08	2,78E-06	5,02E-07	6,41E-06	1,08E-05
Vista Alegre	6,00E-07	2,41E-06	1,64E-08	2,04E-06	1,45E-07	2,34E-06	2,97E-06
Vista Gaúcha	3,95E-07	5,54E-06	7,57E-08	9,40E-06	7,92E-08	9,87E-07	4,91E-06

Legenda: *NC: Não carcinogênico, C: Carcinogênico.

Fonte: Autor (2022).

Para a análise de risco de ingestão de solo superficial, a atrazina não apresentou alteração no resultado em relação ao Cenário I, não oferecendo risco carcinogênico por essa via de exposição. As SQI não carcinogênicas tiveram valores de risco muito inferiores a 1, não apresentando risco a saúde humana através da via de exposição por ingestão de solo superficial (Tabela 16) considerando as concentrações aplicadas (Tabela 14). O 2,4-D não sofreu alteração nos resultados em relação ao Cenário I, visto que a bula recomenda aplicação única.

Dehghani et al. (2022) realizaram uma análise de risco não carcinogênico de atrazina no solo agrícola em terras de Shiraz, Irã, para a via de exposição contato dérmico de solo superficial e ingestão de solo superficial, encontrando resultados abaixo de 1 em todos os pontos analisados, sendo que os índices de risco variam de 0,0008 a 0,03 para adultos, se assemelhando com resultados encontrados neste estudo. Além disso, os autores encontraram o risco carcinogênico da atrazina para contato dérmico e ingestão em todos os pontos analisados, sendo que a concentração mais alta utilizada para o cálculo de risco foi de 0,55 mg/kg.

É possível verificar que, a concentração de atrazina utilizada por Dehghani et al. (2022) é superior a todas as concentrações estimadas para atrazina nesse estudo, onde a mais alta utilizada foi de 0,237 mg/kg (Tabela 9 e 14) para os dois cenários de exposição, já que a atrazina é utilizada em aplicação única não havendo repetições.

Tabela 17 - Risco à saúde do trabalhador rural pela presença de agrotóxicos no solo considerando o cenário de exposição de inalação – Cenário II (múltiplas aplicações).

Risco à saúde do trabalhador rural por inalação.							
Municípios do Rio Grande do Sul	Glifosato	Dicloreto de Paraquate	Atrazina		Mancozebe	2,4 - D	Acefato
	NC	NC	C	NC	NC	NC	NC
Alpestre	1,83E-01	4,07E-01	1,05E-03	1,31E-01	6,73E-02	2,46E-01	1,50E+00
Ametista do Sul	5,30E-02	2,18E-01	6,35E-04	7,89E-02	4,75E-02	2,73E-02	6,23E-02
Barra do Guarita	3,49E-02	7,26E-01	1,66E-03	2,06E-01	9,67E-03	2,57E-01	3,92E-01
Bom Progresso	5,22E-02	4,17E-01	2,04E-03	2,54E-01	5,16E-02	1,64E-01	8,04E-01
Caiçara	1,14E-01	3,32E-01	2,47E-03	3,07E-01	2,72E-02	4,35E-01	1,10E+00
Cristal do Sul	1,95E-02	1,86E-01	1,23E-03	1,53E-01	1,53E-02	1,71E-01	5,63E-01
Derrubadas	1,40E-01	1,06E+00	5,32E-03	6,61E-01	5,73E-02	1,19E-01	2,78E-01
Erval Seco	3,20E-02	2,43E-01	3,33E-03	4,13E-01	6,80E-02	1,06E-01	1,08E+00
Esperança do Sul	2,32E-01	1,35E+00	2,93E-03	3,65E-01	2,24E-02	4,04E-01	8,69E-01
Frederico Westphalen	1,78E-01	4,09E-01	5,95E-03	7,39E-01	4,26E-02	5,52E-01	7,94E-01
Iraí	1,08E-01	3,41E-01	3,06E-03	3,80E-01	9,41E-03	4,84E-01	6,99E-01
Liberato Salzano	1,22E-01	6,39E-01	6,51E-03	8,08E-01	1,92E-02	2,60E-01	1,48E+00
Novo Tiradentes	1,03E-01	4,45E-01	6,18E-03	7,68E-01	9,79E-02	3,39E-01	2,65E+00
Palmitinho	1,90E-01	3,91E-01	2,62E-03	3,26E-01	9,08E-03	4,49E-01	1,40E-01
Pinhal	1,34E-01	1,06E+00	4,54E-03	5,64E-01	1,58E-01	5,85E-01	1,51E+00
Pinheirinho do Vale	1,79E-01	3,74E-01	3,67E-03	4,56E-01	4,78E-02	4,24E-01	1,82E+00
Rodeio Bonito	8,90E-02	2,35E-01	4,24E-03	5,27E-01	1,15E-01	3,57E-01	1,85E+00
Seberi	2,63E-02	2,46E-01	3,55E-03	4,41E-01	1,16E-01	1,36E-01	1,66E+00
Taquaruçu do Sul	2,83E-02	1,90E-01	1,54E-03	1,91E-01	2,55E-02	1,91E-01	6,11E-01
Tenente Portela	9,38E-02	1,44E+00	7,06E-03	8,78E-01	3,40E-02	1,57E-01	5,72E-01
Tiradentes do Sul	2,33E-01	7,73E-01	5,27E-03	6,55E-01	1,03E-02	2,58E-01	1,73E+00
Três Passos	7,68E-02	4,77E-01	3,42E-03	4,24E-01	1,17E-02	1,10E-01	2,07E-01
Vicente Dutra	1,30E-01	3,52E-01	2,15E-03	2,67E-01	4,82E-02	6,15E-01	1,03E+00
Vista Alegre	5,76E-02	2,31E-01	1,57E-03	1,95E-01	1,39E-02	2,24E-01	2,85E-01
Vista Gaúcha	3,79E-02	5,32E-01	7,26E-03	9,02E-01	7,60E-03	9,46E-02	4,71E-01

*NC: Não carcinogênico, C: Carcinogênico.

*Valores em negrito estão acima do limite estipulado para risco (para efeito carcinogênico considera-se risco quando acima de 10⁻⁶ (MACHADO et al., 2018; FAN et al., 2010; HAN et al., 2016 e CERBARO et al., 2021), para efeito não carcinogênico considera-se risco quando acima de 1 (ABNT, 2013)).

Fonte: Autor (2022).

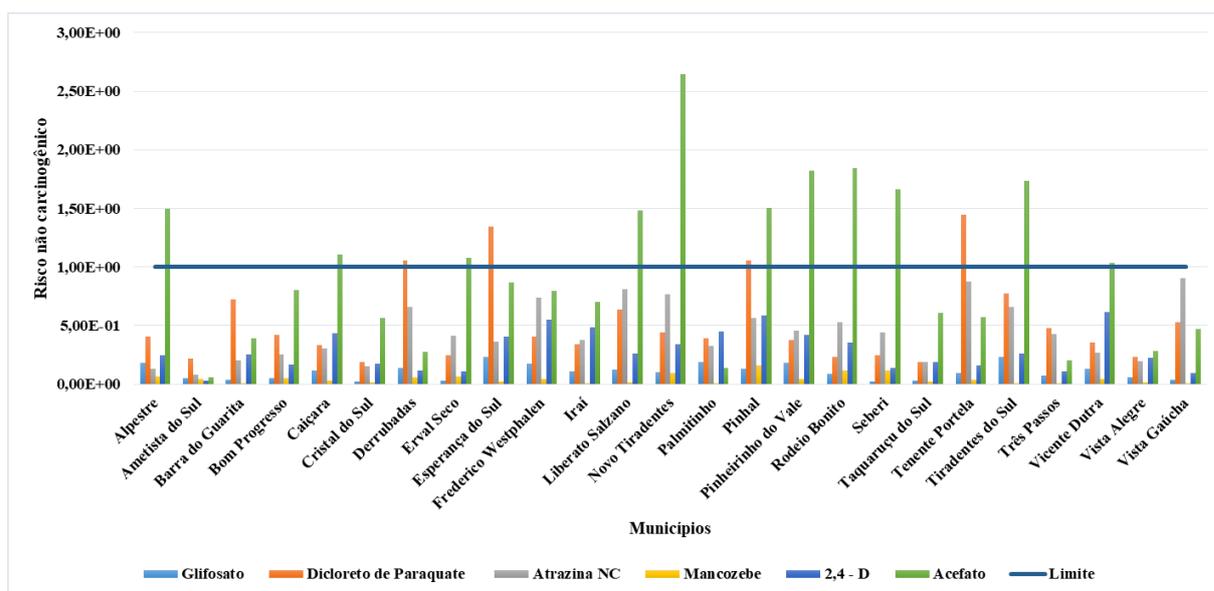
Assim como nos riscos por contato dérmico e ingestão, os resultados da SQI atrazina para o risco de inalação de solo superficial foi o mesmo que o obtido para o Cenário I. Dessa forma, no uso da atrazina, foi encontrado risco carcinogênico à saúde humana por inalação de solo em todos os municípios.

Entre as substâncias não carcinogênicas, o 2,4-D também é utilizado com aplicação única, resultando numa análise de risco igual que a realizada no Cenário I (para uma única

aplicação do produto), tanto para contato dérmico quanto para ingestão e inalação. Considerando que os resultados foram todos inferiores a 1, pode-se dizer que não apresenta risco à saúde, nessas vias de exposição, nos municípios em que é aplicado.

As SQI não carcinogênicas (glifosato e mancozebe), não apresentaram risco para o cenário de inalação de solo superficial, mas foram encontrados riscos superiores a 1 para a SQI dicloreto de paraquate nos municípios de Derrubadas (1,06), Esperança do Sul (1,35), Pinhal (1,06) e Tenente Portela (1,44) (Tabela 17 e Figura 18).

Figura 18 - Risco não carcinogênico à saúde humana do trabalhador rural, no ambiente de trabalho e limite de risco estipulado para as SQI considerando o cenário de exposição de inalação (Cenário II – múltiplas aplicações).



Fonte: Autor (2022).

Maksuk et al. (2018) analisaram o risco da inalação do paraquat para trabalhadores de plantações de dendê. Para isso, foram coletados resíduos do paraquat durante a pulverização usando amostrador de ar pessoal na zona de respiração do trabalhador, encontrando uma dose de inalação da exposição ao paraquat entre 0,0007 - 0,0013 mg/kg/dia (MAKSUK et al., 2018).

Como resultado da análise de risco do estudo, Maksuk et al., (2018) encontraram resultados superiores a 1, o que indica risco a saúde humana para trabalhadores durante a pulverização de paraquat em plantações de dendezeiros, sendo necessário o gerenciamento do controle de risco reduzindo a concentração de paraquat no ar, tempo de exposição, duração da exposição e frequência de exposição.

O estudo realizado por Maksuk et al. (2018), não teve sua avaliação de risco realizada com solo superficial como no estudo em questão, porém, pode-se perceber que o herbicida

dicloreto de paraquat (paraquat) apresentou risco em outras rotas de exposição como a deriva do produto pelo ar, sendo um produto que merece atenção no momento de sua aplicação.

Para o inseticida acefato foi encontrado risco à saúde do trabalhador rural por inalação nos municípios de Alpestre (1,50), Caiçara (1,10), Erval Seco (1,08), Liberato Salzano (1,48), Novo Tiradentes (2,65), Pinhal (1,51), Pinheirinho do Vale (1,82), Rodeio Bonito (1,85), Seberi (1,66), Tiradentes do Sul (1,73) e Vicente Dutra (1,03). Esses resultados indicam que a dose utilizada apresenta risco a saúde humana nos municípios citados. O município de Esperança do Sul apresentou resultado de risco 0,869, estando esse bem próximo do limite estipulado.

É possível observar que, em relação ao Cenário I, onde foi considerada a aplicação do produto em uma única vez, no Cenário II, que respeita as recomendações de várias aplicações indicadas pelas bulas, os valores de risco para inalação de acefato no solo diminuíram, sendo o risco mais elevado encontrado em Novo Tiradentes (2,65), onde conseqüentemente também foi utilizada maior concentração desse produto (0,024 mg/kg).

Assim como no Cenário I (aplicação única da SQI) no Cenário II (múltiplas aplicações), também foi encontrado risco não carcinogênico à saúde do trabalhador rural em todos os municípios, na sua maioria por inalação de solo superficial. O município de Novo Tiradentes foi o que obteve o maior risco à saúde (8,80) seguido por Pinhal (8,01) e Tiradentes do Sul (7,32) (Tabela 18).

Sobre a substância carcinogênica (atrazina), o resultado foi o mesmo da tabela anterior pelo fato desse produto ser utilizado em aplicação única. Portanto, no conjunto de todas as SQI, o resultado foi que todos os municípios apresentaram risco carcinogênico à saúde do trabalhador rural pelo uso, principalmente, da atrazina, o acefato e o dicloreto de paraquat (Tabela 18).

Tabela 18 - Risco à saúde do trabalhador rural, combinando múltiplas SQI e múltiplos cenários de exposição (contato dérmico, ingestão e inalação), por município, para o Cenário II (múltiplas aplicações).

(continua)

Municípios do Rio Grande do Sul	Risco Total Não Carcinogênico	Risco Total Carcinogênico
Alpestre	5,06E+00	2,10E-03
Ametista do Sul	9,74E-01	1,27E-03
Barra do Guarita	3,25E+00	3,31E-03
Bom Progresso	3,49E+00	4,09E-03
Caiçara	4,64E+00	4,95E-03
Cristal do Sul	2,22E+00	2,47E-03
Derrubadas	4,63E+00	1,06E-02
Erval Seco	3,88E+00	6,65E-03
Esperança do Sul	6,47E+00	5,87E-03
Frederico Westphalen	5,43E+00	1,19E-02
Iraí	4,04E+00	6,12E-03
Liberato Salzano	6,66E+00	1,30E-02

Tabela 18 - Risco à saúde do trabalhador rural, combinando múltiplas SQI e múltiplos cenários de exposição (contato dérmico, ingestão e inalação), por município, para o Cenário II (múltiplas aplicações).
(conclusão)

Municípios do Rio Grande do Sul	Risco Total Não Carcinogênico	Risco Total Carcinogênico
Novo Tiradentes	8,80E+00	1,24E-02
Palmitinho	3,01E+00	5,25E-03
Pinhal	8,01E+00	9,08E-03
Pinheirinho do Vale	6,61E+00	7,35E-03
Rodeio Bonito	6,34E+00	8,48E-03
Seberi	5,25E+00	7,10E-03
Taquaruçu do Sul	2,47E+00	3,08E-03
Tenente Portela	6,36E+00	1,41E-02
Tiradentes do Sul	7,32E+00	1,05E-02
Três Passos	2,61E+00	6, 83E-03
Vicente Dutra	4,89E+00	4,30E-03
Vista Alegre	2,02E+00	3,14E-03
Vista Gaúcha	4,09E+00	1,45E-02

Fonte: Autor (2022).

4.4 RELAÇÃO DO RISCO COM O USO DO SOLO NA REGIÃO.

Os municípios com maior área plantada por culturas anuais em 2018 foram os municípios de Seberi (24.028 ha), Tenente Portela (23.333 ha) e Erval Seco (21.766 ha) (Tabela 1). Se considerados os dados de quantidade de agrotóxico utilizado por município (Quadro 1), com os seis produtos somados, os municípios de Seberi (51.716,50 L/ano ou kg/ano) e Tenente Portela (56.732,80 L/ano ou kg/ano) foram os que mais utilizaram agrotóxicos.

Já os municípios onde foram encontradas as maiores concentrações, considerando a soma de todos eles em aplicação única (Cenário I) foram Tiradentes do Sul (0,590 mg/kg), Pinhal (0,574 mg/kg) e Frederico Westphalen (0,560 mg/kg). No Cenário II, ou seja, com mais aplicações, encontram-se em situação mais crítica Tiradentes do Sul (0,409mg/kg), Pinhal (0,337 mg/kg) e Tenente Portela (0,374 mg/kg).

Em relação ao risco, Tiradentes do Sul, Pinheirinho do Vale e Esperança do Sul obtiveram os maiores valores de risco total não carcinogênico no Cenário I. No Cenário II, os municípios com os riscos totais mais elevados foram Novo Tiradentes, Pinhal e Tiradentes do Sul. Já os maiores valores de risco carcinogênico foram observados nos municípios de Vista Gaúcha, Tenente Portela e Liberato Salzano.

Um fator que influencia nesse resultado é que os municípios com maior risco à saúde do trabalhador pela presença de agrotóxicos em solo, seja ele carcinogênico ou não

carcinogênico, têm predominantemente cambissolos, que apresenta menor densidade em relação ao latossolo, também existente na região.

Nota-se, também, os municípios que possuem a maior área plantada não foram os que apresentaram os maiores índices de risco, como no caso dos municípios de Seberi e de Erval Seco, que não estão entre os que apresentaram maior risco à saúde humana do trabalhador rural pelas vias de exposição consideradas neste estudo, indicando influência de menor consumo de agrotóxicos por área plantada. Isso também se reflete nos casos de municípios que utilizam maiores quantidades do produto do que é recomendado, pois tiveram área plantada significativamente menor que os outros que apresentaram maior área a menor risco, como é o caso do município de Pinhal que está entre os três municípios que apresentaram maior risco a saúde e entre os tiveram menor área plantada em 2018 (2.755 ha).

4.5 ANÁLISE DE INCERTEZAS.

Em geral, as principais incertezas de uma avaliação quantitativa de riscos à saúde humana, advém de três fatores principais: a falta de dados, dados incompletos ou ainda dados incorretos. Uma análise de incertezas em estudos quantitativos de risco é importante por diversos motivos, sendo que um dos principais é possibilitar a transparência na tomada de decisão acerca do risco quantificado.

Nesse estudo, os dados de consumo das SQI não foram coletados diretamente em campo, sendo esses retirados de estatísticas e trabalhos anteriores realizados na região, que consultaram planilhas fornecidas pelo sistema de gestão integrada de agrotóxicos – SIG@ (RIO GRANDE DO SUL, 2019), contemplando uso oficial dos agrotóxicos (com receita agronômica), o que pode resultar numa subnotificação, e subestimar, o uso real de produtos efetivamente aplicados. Os dados de uso do solo e área plantada foram obtidos de órgãos do governo, que disponibilizam as informações online. Por meio deles foi calculada a concentração estimada das SQI presentes no solo por área plantada, podendo levar a erros de estimativas em função da subnotificação do consumo das SQI e da forma de aplicação (caso a bula não seja respeitada, como considerado no Cenário II).

Portanto, pese a que é de conhecimento público a intensa utilização de agrotóxicos comercializados ilegalmente no Brasil, não se tem dados concretos quantitativos que possibilitem efetuar uma análise de risco mais próxima da realidade.

Com relação à quantificação das doses de ingresso e riscos à saúde, estes são calculados com base em diversos parâmetros que podem ser físico-químicos, toxicológicos ou mesmo

biológicos. Esses dados foram coletados com base em diversas bibliografias indicadas pela NBR 16.204/2013 (ABNT, 2013) e constantes nas planilhas de análise de risco publicadas pela CETESB (2021) (Tabela 6), porém, não são necessariamente valores genéricos (de igual representatividade para toda a população), uma vez que cada pessoa pode ser mais ou menos sensível a um ou mais compostos. Nestes casos, Hacon (2016) ressalta que os parâmetros selecionados pela CETESB (2021) em suas planilhas, levam em consideração a proteção da saúde de indivíduos ou populações mais sensíveis, podendo assim ter um resultado superestimado do risco.

5 CONCLUSÃO

Com o desenvolvimento desse estudo, foi identificado que os agrotóxicos mais utilizados na região Noroeste do Rio Grande do Sul no ano de 2018 foram glifosato, dicloreto de paraquate, atrazina, mancozebe, 2,4-D e acefato. Dos 25 municípios analisados, Seberi e Tenente Portela foram os que mais utilizaram agrotóxicos no ano de 2018 (51.716,50 e 56.732,80 L/ano ou kg/ano respectivamente), sendo esses também os municípios que possuem maior área plantada por hectare (24.028 ha e 23.333 há respectivamente).

As vias de exposição às quais o trabalhador rural está exposto são: contato dérmico com solo superficial, ingestão de solo superficial e inalação de partículas do solo superficial. Se ele não estiver utilizando nenhum tipo de EPI durante a aplicação do produto, a via de exposição mais crítica (de maior risco à saúde) é a de inalação, por ser a única via de exposição que apresentou risco, especialmente para as SQI atrazina, dicloreto de paraquate e acefato.

Entre as SQI avaliadas, a atrazina é a única considerada carcinogênica, por isso pode-se dizer que essa é a substância mais tóxica em todos os municípios. Na quantificação dos riscos para atrazina, não foi encontrado risco carcinogênico por contato dérmico ou por ingestão de solo superficial em nenhum dos dois cenários analisados (na aplicação em dose única e na aplicação em múltiplas doses), pois nenhum município apresentou risco maior que $1,0E-06$. Além disso, não foi encontrado risco não carcinogênico para contato dérmico e ingestão em nenhum dos cenários pois nenhum dos municípios apresentou risco maior que 1 nessas vias de exposição para o trabalhador rural. Em relação à via de exposição por inalação de partículas de solo superficial, foi encontrado risco carcinogênico para a atrazina em todos os municípios nos dois cenários analisados visto que é recomendada a aplicação em dose única do produto.

Se tratando das substâncias não carcinogênicas, no cenário I (aplicação única) foram encontrados valores de dicloreto de paraquate acima de 1 em todos os municípios exceto Cristal

do Sul, podendo assim caracterizar risco. Além disso, para o acefato também ocorre risco de inalação a partir de solo superficial em 72,00% dos municípios analisados, sendo eles Alpestre, Bom Progresso, Caiçara, Cristal do Sul, Erval Seco, Esperança do Sul, Frederico Westphalen, Iraí, Liberato Salzano, Novo Tiradentes, Pinhal, Pinheirinho do Vale, Rodeio Bonito, Seberi, Taquaruçu do Sul, Tenente Portela, Tiradentes do Sul e Vicente Dutra.

No cenário II (múltiplas aplicações), para as substâncias não carcinogênicas, foi encontrado risco por inalação de solo superficial pela SQI dicloreto de paraquate em 16% dos municípios (Derrubadas, Esperança do Sul, Pinhal e Tenente Portela). Já para o inseticida acefato foi encontrado risco por inalação em 44% dos municípios (Alpestre, Caiçara, Erval Seco, Liberato Salzano, Novo Tiradentes, Pinhal, Pinheirinho do Vale, Rodeio Bonito, Seberi, Tiradentes do Sul e Vicente Dutra).

No cálculo de risco total, município de Tiradentes do Sul teve o maior risco total não carcinogênico no cenário I (aplicação única) e, Novo Tiradentes no cenário II (múltiplas aplicações). O município de Vista Gaúcha teve o maior risco total carcinogênico.

Dessa forma, foi possível afirmar que, comparando os resultados obtidos nos dois cenários de exposição, o cenário II, onde o produto é aplicado de acordo com as indicações do seu fabricante (múltiplas aplicações), o risco de danos à saúde humana foi menor. Além disso, foi possível concluir que, de acordo com os dados estimados e com o risco total calculado, todos os municípios possuem risco não carcinogênico e carcinogênico para a saúde humana em decorrências da aplicação dos agroquímicos mais utilizados.

REFERENCIAS

ALTA. [Bula]. **Paraquat**. 2019. Disponível em: <https://www.altadefensivos.com.br/wp-content/uploads/2019/09/Paraquate-Alta-200-SL-5L-BULA.pdf>. Acesso em 16 mar. 2022.

AGUILAR, Jailson Vieira. **Crescimento e desenvolvimento do algodoeiro tratado com subdose hormética de 2,4-D em função da aplicação de níquel e nitrogênio**. 2017. 40 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) -Universidade Estadual Paulista “Júlio De Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2017. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/150607>. Acesso em 18 mar. 2022.

ALVES, Michelli. **O uso de agrotóxicos na fumicultura no município de Braço do Norte - Santa Catarina**. 2017. 55 f. Monografia (Ciências Biológicas) - Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Tubarão, SC, 2017. Disponível em: <https://uab.ufsc.br/biologia/files/2014/05/Michelli-Fortunato-Alves-13401266.pdf>. Acesso em 16 mar. 2022.

AMARAL, Eros Izidoro. **Avaliação da exposição ambiental ao glifosato na área agrícola da Serrinha do Mendanha**. 2009. 59 f. Dissertação (Mestrado em Ciências na área de Saúde Pública e Meio Ambiente) – FIOZRUZ – Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: https://www.arca.fiocruz.br/bitstream/icict/2454/1/ve_Eros_Izidoro_ENSP_2009.pdf. Acesso em: 12 fev. 2022.

ARMENTA, Sergio *et al.* Solid sampling Fourier transform infrared determination of Mancozeb in pesticide formulations. **Talanta**. v.65, p.971- 979, 2005. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0039914004005132>. Acesso em: 12 fev. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR nº 16.209**: Avaliação de risco a saúde humana para fins de gerenciamento de áreas contaminadas. Rio de Janeiro: ABNT, 2013. 40 p.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E1739**: Standard Guide for Risk-Based Corrective Action Applied at Petroleum Release Sites. Philadelphia. 1995.

BANDEIRA, Tatiane de Camargo. Os impactos na geração de renda agrícola na Região Noroeste Colonial/RS a partir da seca de 2011/12. **Curso de Pós-Graduação lato sensu em Controladoria e Gestão Empresarial**. Ijuí, 2013.

BELCHIOR, Diana Cléssia Vieira et al. Impactos de agrotóxicos sobre o Meio ambiente e a saúde humana. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 34, n. 1, p. 135-151, 2017. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/164063/1/Impactos-de-agrotoxicos-sobre-o-meio-ambiente.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2022.

BELO, Mariana Soares da Silva Peixoto *et al.* Uso de agrotóxicos na produção de soja do estado do Mato Grosso: um estudo preliminar de riscos ocupacionais e ambientais. **Revista brasileira de saúde ocupacional**, v. 37, n. 125, p. 78-88, 2012. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rbso/a/6WpPZxTdH4GdPPCh4TwndHc/?lang=pt>. Acesso em: 10 fev. 2022.

BRASIL. Agência nacional de vigilância sanitária - ANVISA. Regulamentação. **Anvisa aprova novo marco regulatório para agrotóxicos**. Brasília, DF: ANVISA, 2019a.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Dicas em saúde: intoxicação por agrotóxicos**. Folder, 2006. Disponível em: <http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/dicas/108agrottox.html>. Acesso: 06 mai. 2022.

BRASIL. **Relatório Nacional de Vigilância em Saúde de Populações Expostas a agrotóxicos**. 2018. Ministério da Saúde: Secretaria de Vigilância em Saúde, 2018. Disponível em: https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/relatorio_nacional_vigilancia_populacoes_expostas_agrotoxicos.pdf. Acesso em: 14 abr. 2022.

BRASIL. **Resolução da diretoria colegiada – RDC nº 294, de 29 de julho de 2019 – ANVISA**. 2019b. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=381153>. Acesso em: 10 fev. 2022.

BRASIL. **Resolução da diretoria colegiada – RDC Nº 177, de 21 de setembro de 2017– ANVISA**. 2017. Disponível em: https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/19308145/do1-2017-09-22-resolucao-rdc-n-177-de-21-de-setembro-de-2017-19308065. Acesso em: 10 fev. 2022.

BRASIL. **Resolução da diretoria colegiada – RDC Nº 428, de 07 de outubro de 2020– ANVISA**. 2020. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-de-diretoria-colegiada-rdc-n-428-de-7-de-outubro-de-2020-281790283>. Acesso em: 10 fev. 2022.

BRASIL. **REAVALIAÇÃO TOXICOLÓGICA DO INGREDIENTE ATIVO ACEFATO - ANVISA**. 2009. Disponível em: <https://www.cevs.rs.gov.br/upload/arquivos/201712/06131307-nota-tecnica-do-acefato.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2022.

BOCHNER, Rosany. Sistema Nacional de informações Tóxico-Farmacológicas – SINITOX e as intoxicações humanas por agrotóxicos no Brasil. **Ciênc Saúde Coletiva**, v. 12, n. 1, p. 73-89, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-81232007000100012>. Acesso em: 10 fev. 2022.

BOMBARDI, Larissa Mies. Geografia do uso de agrotóxicos no Brasil e conexões com a União Europeia. **São Paulo: FFLCH - USP**, 296 p. 2017. Disponível em: <https://conexaoagua.mpf.mp.br/arquivos/agrotoxicos/05-larissa-bombardi-atlas-agrotoxico-2017.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2022.

CARNEIRO, Fernando Ferreira *et al.* Dossiê ABRASCO: Um alerta sobre os impactos dos agrotóxicos na saúde. **Expressão Popular**. São Paulo, 624 p. 2015. Disponível em: https://www.abrasco.org.br/dossieagrotoxicos/wp-content/uploads/2013/10/DossieAbrasco_2015_web.pdf. Acesso em: 10 fev. 2022.

COSTA, Vanessa Indio do Brasil da *et al.* Exposição ambiental e ocupacional a agrotóxicos e o linfoma não Hodgkin. **Saúde e debate**. Rio de Janeiro, v. 41, n. 112, p. 49-62, 2017.

Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/sdeb/a/gq7pCfbPYfCgvJqksVPCgzy/citation/?lang=pt&format=pdf>.

Acesso em: 17 jan. 2023.

CCAB AGRO. [Bula]. **Mancozebe**. 2022. Disponível em: https://www.agrolink.com.br/agrolinkfito/produto/mancozeb-ccab-800-wp_10635.html.

Acesso em 16 mar. 2022.

CERBARO, Daniela *et al.* Compostos voláteis associados ao risco carcinogênico e não carcinogênico. **Eng Sanit Ambient**, v.26, n.1, p. 133-142, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/YCCwQTfGWK3HV7b55y9KYDb/?lang=pt>. Acesso em: 20 abr. 2022.

CERDEIRA, Antonio L; DUKE, Stephen O. The current status and environmental impacts of glyphosate-resistant crops. **A review. Journal Environmental Quality**, v. 35, n. 5, p. 1633-1658, 2006. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.2134/jeq2005.0378>. Acesso em: 10 fev. 2022.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Avaliação de Risco a Saúde Humana**. São Paulo: CETESB; 2001. Capítulo IX, Manual de gerenciamento de áreas contaminadas.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – **Planilhas para Avaliação de Riscos em áreas Contaminadas sob Investigação**. 2021. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/documentacao/planilhas-para-avaliacao/> Acesso em: 10 set. 2021.

COUTINHO, Cláudia *et al.* Pesticidas: Mecanismo de ação, degradação e toxidez. **Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, v. 15, p. 65-72, 2005. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/pesticidas/article/view/4469>. Acesso em: 10 fev. 2022.

CURWIN, Brian *et al.* Pesticide use and practices in an Iowa farm Family pesticide exposure study. **Journal of Agricultural and Safety and Health**, v. 8, n. 4, p. 423-433, 2002. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/10932639_Pesticide_Use_and_Practices_in_an_Iowa_Farm_Family_Pesticide_Exposure_Study. Acesso em: 10 fev. 2022.

DEHGHANI, Mansooreh. *et al.* Health risk assessment of exposure to atrazine in the soil of Shiraz farmlands, Iran. **Environmental Research**, v. 204, Part B, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0013935121013852>. Acesso em: 12 set. 2022.

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

ESRI. ArcGIS Desktop 10.2.2. Redlands, 2014.

ESPINOZA, Nelson Fabián Villacrés. **El uso de plaguicidas químicos en el cultivo de papa (solanumtuberosum) su relación con el medio ambiente y la salud. Tungurahua**. 2014. 162 f. Dissertação (Maestría En Agroecología y Ambiente) - Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador. 2014. Disponível em:

<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/7003/1/tesis-011%20Maestr%c3%ada%20en%20Agroecolog%c3%ada%20y%20Ambiente%20-%20CD%20227.pdf>. Acesso em: 13 mar. 2022.

EPA – Environmental Protection Agency. **Reregistration Eligibility Decision for 2,4-D**. 2005. 304 p. Disponível em: https://archive.epa.gov/pesticides/reregistration/web/pdf/24d_red.pdf. Acesso em: 13 mar. 2022.

FAN, Chihhao *et al.* Comparative study of multimedia models applied to the risk assessment of soil and groundwater contamination sites in Taiwan. **Journal of Hazardous Materials**, v. 182, p. 778-786, 2010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389410008423?via%3Dihub>. Acesso em: 13 jun. 2022.

FARIA, Neice Müller Xavier; ROSA, José Antônio Rodrigues da; FACCHINI, Luiz Augusto. Intoxicações por agrotóxicos entre trabalhadores rurais de fruticultura, Bento Gonçalves, RS. **Revista de Saúde Pública**. v. 43, n. 2, p. 335-344, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rsp/a/zZXz7jmCwLMXXVnnMfcqzzR/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 10 fev. 2022.

FARIA, Vanessa Heloisa Ferreira. **Glifosato: desenvolvimento de metodologia para determinação em soja e milho e avaliação de parâmetros laboratoriais em trabalhadores expostos a agrotóxicos**. 2013. 130 f. Dissertação (Programa de Pós Graduação em Ciência Farmacêuticas da Faculdade de Farmácia) - Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, Belo Horizonte, MG, 2013. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/EMCO-9BAJ3R/1/disserta__o_vanessa_heloisa.pdf. Acesso em: 01 mar. 2022.

FEIX, Rodrigo Daniel; JÚNIOR Sérgio Leusin. **Painel do agronegócio no Rio Grande do Sul — 2019**. Porto Alegre: SEPLAG, DEPARTAMENTO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA, 2019. 54p. Disponível em: <https://estado.rs.gov.br/upload/arquivos/painel-do-agronegocio-no-rs-2019.pdf>. Acesso em: 23 abr. de 2020.

FINOTTI, Alexandra Rodrigues. **Estudo da Aplicabilidade do Modelo de Ação Corretiva Baseada no Risco (RBCA) em Contaminações Subterrâneas com Gasolina e Etanol**. 1997. 110f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997. Disponível em em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/77160>. Acesso em: 23 jun. 2022.

FONSECA, Janaína Conrado Lyra *et al.* Programa Internacional de Segurança Química. Substancias químicas perigosas à saúde e ao ambiente. **Organização Mundial da Saúde**, São Paulo: Cultura acadêmica, 2008.

FRIEDRICH, Karen. **Avaliação dos efeitos tóxicos sobre o sistema reprodutivo, hormonal e câncer para seres humanos após o uso do herbicida 2,4-D**. Rio de Janeiro: Instituto Nacional de Controle de Qualidade em Saúde da Fundação Oswaldo Cruz, 2014. Disponível em: http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:Drz4vNJrn_AJ:antigo.contraosagrototoxicos.org/index.php/materiais/relatorios/parecer-sobre-o-herbicida-2-4-d-incqs-fiocruz/download+&cd=1&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br. Acesso em: 01 mar. 2022.

GARCIA, Jaine E. Acute poisoning from pesticides: human and economic costs. **Revista Panamericana de Salud Pública**. v.4, n.6, 1998. Disponível em: <https://www.scielosp.org/pdf/rpsp/1998.v4n6/383-387/es>. Acesso em: 01 mar. 2022.

HACON, Bianca de Souza. **Influência do meio físico no risco à saúde em áreas contaminadas por HPAs**. 2016. 183 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Centro Técnico Científico da PUC-Rio, RJ, 2016. Disponível em em: <https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/33908/33908.PDF>. Acesso em: 23 jun. 2022.

HAN, Lu *et al.* A comparison of risk modeling tools and a case study for human health risk assessment of volatile organic compounds in contaminated groundwater. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 23, p.1234–1245, 2016. Disponível em em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-015-5335-4>. Acesso em: 23 jun. 2022.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção Agrícola Municipal. **Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA**, 2018. Disponível em em: <https://sidra.ibge.gov.br/>. Acesso em: 23 ago. 2021.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção Agrícola Municipal. **Malha Municipal**, 2020. Disponível em em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?edicao=30138&t=acesso-ao-produto>. Acesso em: 17 set. 2021.

INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER - IARC. **Agents classified by the Monographs**. 2018. v. 1-132.. Disponível em: <http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/>. Acesso em: 13 mar. 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER JOSÉ ALENCAR GOMES DA SILVA. Exposição no trabalho e no ambiente. **Agrotóxico**. Rio de Janeiro: INCA, 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER JOSÉ ALENCAR GOMES DA SILVA. **Ambiente, trabalho e câncer: aspectos epidemiológicos, toxicológicos e regulatórios**. Rio de Janeiro: INCA, 293 p. 2021. Disponível em: https://www.inca.gov.br/sites/ufu.sti.inca.local/files//media/document//ambiente_trabalho_e_cancer_-_aspectos_epidemiologicos_toxicologicos_e_regulatorios.pdf. Acesso em: 12 fev. 2022.

ISMAIL, B. S *et al.* Contamination of rice field water with sulfonylurea and phenoxy herbicides in the Muda Irrigation Scheme, Kedah, Malaysia. **Environmental Monitoring and Assessment**, v.187, p. 406, 2015. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26045037/>. Acesso em: 04 jun. 2022.

JACINTO, Claire Lucie. **Avaliação da exposição crônica ao mancozebe pelo consumo de pera rocha**. 2015. 84 f. Dissertação (Mestrado em Gestão da Qualidade e Segurança Alimentar) - Escola Superior de Turismo e Tecnologia do Mar – Peniche Instituto Politécnico de Leiria, Portugal, 2015. Disponível em: <https://iconline.ipleiria.pt/bitstream/10400.8/2194/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20Claire%20Jacinto%20%284120032%29.pdf>. Acesso em 16 abr. 2022.

JOBIM, Paulo Fernandes Costa *et al.* Existe uma associação entre mortalidade por câncer e uso de agrotóxicos?: Uma contribuição ao debate. **Ciênc. saúde coletiva**. v. 15 n.1. p. 277-288, 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csc/a/4jgjRK9mbMrQYWwWyHxvxcs/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 10 fev. 2022.

KATES, Robert W. & KASPERSON, Jeanne X. Comparative risk analysis of technological hazard (a review). **Procedures of National Academy of Sciences**. v. 80. p 7027-7038, 1983.

LARA, Stephanie Sommerfeld *et al.* Agricultura do agronegócio e sua relação com a intoxicação aguda por agrotóxicos no Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde**, v. 15 n. 32, p. 1–19, 2019. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/hygeia/article/view/46822>. Acesso em: 10 fev. 2022.

LAVORENTI, Abel *et al.* Comportamento de pesticidas em solos: fundamentos. **Tópicos em ciência do solo**. Tradução. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - SBCS, 2003. v. 3. p. 430 il. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/002967985>. Acesso em: 20 set. 2022.

LONDRES, Flavia. Agrotóxicos no Brasil um guia para ação em defesa da vida. **Rio de Janeiro**, p. 189; 2011. Disponível em: <https://br.boell.org/sites/default/files/agrotoxicos-no-brasil-mobile.pdf>. Acesso em: 10 març. 2022.

LU, Xiao *et al.* Lung ultrasound predicts acute respiratory distress syndrome in patients with paraquat intoxication. **Hong Kong Journal of Emergency Medicine**. v. 24 p. 275–281, 2017. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/1024907917735087>. Acesso em: 10 fev. 2022.

MACHADO, Carolina Sampaio. **Quantificação do risco à saúde humana pela exposição a poluentes químicos e potencial carcinogênico as comunidades adjacentes ao Rio Pardo, Brasil**. 2016. 175 p. Tese (Programa Enfermagem em Saúde Pública) – Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, SP, 2016. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/22/22133/tde-30032017-195037/publico/CAROLINASAMPAIOMACHADO.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2022.

MACHADO, Carolina Sampaio *et al.* Atrazina na água fluvial: avaliação de risco à saúde humana pela exposição recreacional. **Revista gestão e sustentabilidade ambiental**, v. 7, n. 3, p. 36-46, 2018. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/directbitstream/698b69ce-24d5-4f6f-a7b3-2927b9e8d9a0/002967004.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2022.

MAKSUK *et al.* Risk Quotient of Airborne Paraquat Exposure among Workers in Palm Oil Plantation. **International Journal of Public Health Science (IJPHS)**. v. 7, p. 97-101, 2018. Disponível em: <https://ijphs.iaescore.com/index.php/IJPHS/article/view/11776/11719>. Acesso em: 10 out. 2022.

MANGAS, Iris *et al.* Neurotoxic Effects Associated with Current Uses of Organophosphorus Compounds, **Journal of the Brazilian Chemical Society**. v. 27 p. 809–825, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.5935/0103-5053.20160084>. Acesso em: 10 fev. 2022.

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Relatório de Produtos Formulados**: Registro MAPA 3009. 2017.17 p.

MARTINS, Eucarlos de Lima. **Previsão da lixiviação de agrotóxicos utilizados na cultura de algodão em Mato Grosso**. 2006. 82 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá. 2006. Disponível em: <http://livros01.livrosgratis.com.br/cp036126.pdf>. Acesso em: 01 mar. 2022.

MATA, João Siqueira; FERREIRA, Rafael Lopes. **Agrotóxico no Brasil – Uso impactos ao meio ambiente e a saúde pública**. Ecodebate, 2013. Disponível em: <https://www.ecodebate.com.br/2013/08/02/agrotoxico-no-brasil-uso-e-impactos-ao-meio-ambiente-e-a-saude-publica-por-joao-siqueira-da-mata-e-rafael-lobes-ferreira/#:~:text=O%20Brasil%20se%20tornou%20o,sa%C3%BAde%20e%20ao%20meio%20ambiente>. Acesso em: 10 fev. 2022.

MELLO, Fabiola Azevedo *et al.* Agrotóxicos: Impactos ao Meio Ambiente e à Saúde Humana. **Revista Colloquium Vitae**, São Paulo, v. 11, n. 2, 2019. Disponível em: <https://journal.unoeste.br/index.php/cv/article/view/2285/2787>. Acesso em: 10 fev. 2022.

MENDONÇA, Juliana dos Santos. **Influência da exposição à atrazina e grifosato no desenvolvimento ósseo de *Podocnemis expansa* (Testudines, podocnemididae)**. 2015. 79 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em ciencias veterinárias) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/13137>. Acesso em: 01 mar. 2022.

MOSTAFALOU, Sara; ABDOLLAHI, Mohammad. Pesticides: an update of human exposure and toxicity. **Arch Toxicol**, v. 91, n. 2, p. 549–599, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00204-016-1849-x>. Acesso em: 10 fev. 2022.

MORAES, Pedro Valério Dutra de; ROSSI, Patricia. Comportamento ambiental do glifosato. **Scientia Agraria Paranaensis**, [S. l.], v. 9, n. 3, 2000. DOI: 10.18188/sap.v9i3.5258. Disponível em: <https://e-revista.unoeste.br/index.php/scientiaagraria/article/view/5258>. Acesso em: 6 ago. 2022.

NASCIMENTO, Guilherme Godoy Coutinho Corino. **Análise de risco à saúde humana em área de contaminação ambiental no Município de Adrianópolis, Vale do Ribeira, PR**. 2015. 2083 f. Monografia (Graduação em Geologia) - Universidade Estadual de Campinas, SP, 2015.

NORTOX. [Bula]. **2,4-D**. 2022b. Disponível em: <https://solucoes.nortox.com.br/hc/pt-br/articles/4404081780116-2-4-D-Nortox>. Acesso em 16 mar. 2022.

NORTOX. [Bula]. **Acefato**. 2022c. Disponível em: <https://solucoes.nortox.com.br/hc/pt-br/articles/4404070418580-Acefato-Nortox>. Acesso em 16 mar. 2022.

NORTOX. [Bula]. **Atrazina**. 2021. Disponível em: <https://solucoes.nortox.com.br/hc/pt-br/articles/4404082501780-Atrazina-Nortox-500-SC>. Acesso em 16 mar. 2022.

NORTOX. [Bula]. **Glifosato**. 2022a. Disponível em: <https://solucoes.nortox.com.br/hc/pt-br/articles/4404199921044-Glifosato-720-WG-Nortox>. Acesso em 16 mar. 2022.

ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE (OPAS). Representação no Brasil. Manual de vigilância da Saúde de populações expostas a agrotóxicos. Brasília, **Organização Pan-Americana da Saúde**, 69 p. 1997. Disponível em: <https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/livro2.pdf>. Acesso em; 01 mar. 2022.

PAN. Pesticide Action Network of North America. **Cancer**. Disponível em: <https://www.panna.org/>. Acesso em: 06 de jan. de 2022.

PAVANI, Nilton Dias. **Pesticidas: Uma revisão dos aspectos que envolvem esses compostos**. 2016. 64 f. Monografia (Licenciatura plena em Química) - Faculdade de ciências – UNESP, Bauru, SP, 2016. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/136596/000860464.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em; 01 mar. 2022.

PEIXOTO, Sandra Cadore. **Estudo da estabilidade a Campo dos Pesticidas Carbofurano e Quincloraque em Água de Lavoura de Arroz Irrigado empregando SPE e HPLC/DAD**. 2007. 108 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Química, Departamento de Centro de Ciências Naturais e Exatas, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/10378/SANDRA%20PEIXOTO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 12 fev. 2022.

PEREIRA, Sara *et al.* Changes in the metabolome of lettuce leaves due to exposure to mancozeb pesticide. **Food Chemistry**. v.154, p.291-298, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814614000259?via%3Dihub>. Acesso em: 12 fev. 2022.

PERES, Frederico *et al.* Comunicação relacionada ao uso de agrotóxicos em região agrícola do Estado do Rio de Janeiro. **Rev. Saúde Pública**, v.35, n.6, p.564-570, 2001. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rsp/a/JBCqXzzfBLLKj69KRWmFhFC/?lang=pt>. Acesso em: 12 fev. 2022.

PINHO, Tamara Garcia. **Primavera silenciosa” estudo estatístico da relação, ao entre o volume de agrotóxicos comercializados e o aumento do aparecimento de tumores cancerígenos no Estado do Paraná**. 2019. 60 f. Monografia (Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2019. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/11882/1/LD_COEAM_2019_1_17.pdf. Acesso em: 12 fev. 2022.

PIGNATI, Wanderlei Antonio *et al.* 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. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1413-812320172210.17742017>. Acesso em: 10 fev. 2022.

PINTO, Filipe Strutz. **Avaliação do risco à saúde humana de área contaminada por derivados de petróleo – Estudo de caso**. 2017. 60 f. Monografia (Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Ouro Preto, MG, 2017. Disponível em: <https://www.monografias.ufop.br/handle/35400000/1058>. Acesso em: 12 fev. 2022.

PIRES, Dario Xavier *et al.* Uso de agrotóxicos e suicídios no Estado do Mato Grosso do Sul, Brasil. **Cad. Saúde Pública**, v. 21, n. 2, 2005. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-311X2005000200027. Acesso em: 10 fev. 2022.

PREZA, Débora de Lucca Chaves; AUGUSTO, Lia Giraldo da Silva. Vulnerabilidades de trabalhadores rurais frente ao uso de agrotóxicos na produção de hortaliças em região do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**, v. 37, n. 125, p. 89-98, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbso/a/tBb4YhMVcDbX3PVHKKHHg7S/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 19 mar. 2022.

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>. Acesso em: 19 mar. 2022.

RODRIGUES, Suellen Fernanda Manguiera *et al.* Trabalhador do campo e as doenças causadas pelo uso de agrotóxicos. **Agrotóxicos e Transgênicos**, v. 12, n. 1, 2018. Disponível em: <http://cadernos.aba-agroecologia.org.br/cadernos/article/view/299>. Acesso em: 10 fev. 2022.

ROHIT, Jigneshkumar *et al.* Surface modification of silver nanoparticles with dopamine dithiocarbamate for selective colorimetric sensing of mancozeb in environmental samples. **Sensors and Actuators B: Chemical**. v. 200, p. 219-226, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925400514004444>. Acesso em: 10 fev. 2022.

SALABERRIA, Iurgi *et al.* Effects os atrazine on hepatic metabolismo and endocrine homeotasis in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Toxicology and applied pharmacology**, v. 234, n. 1, p. 98-106, 2009. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0041008X08004122?via%3Dihub>. Acesso em: 10 fev. 2022.

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**. 2021a. F. 95. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Maria, 2021a.

SANTOS, Caroline Emiliano *et al.* Uso de Agrotóxicos e o Panorama das Intoxicações Exógenas no Noroeste do Rio Grande do Sul. **Rev. Anurio do Instituto de Geociências**, v. 44 , pág. 1-15, 2021b.

SILINS, Ilona *et al.* Evaluation of carcinogenic modes of action for pesticides in fruit on the Swedish market using a text-mining tool. **Frontiers in Pharmacology**, v. 5 n. 145, p. 1-7, 2014. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25002848/>. Acesso em: 10 fev. 2022.

SILVA, Renata *et al.* Fast and direct determination of mancozeb through batch injection analysis with amperometric on boron-doped diamond electrodes. **Journal of Electroanalytical Chemistry**. v. 733, p.85-9 2014. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1572665714004172>. Acesso em: 10 fev. 2022.

SILVA, Liana Maria Ferreira da *et al.* Levantamento dos agrotóxicos utilizados na horticultura no município de Ubajara – CE. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.5, n.4, p.280-285, 2011. Disponível em: <https://www.inovagri.org.br/revista/index.php/rbai/article/view/92>. Acesso em: 10 fev. 2022.

SOLOMON, Keith R.; MARSHALL Edward Jon.; CARRASQUILLA, Gabriel. Human Health and Environmental Risks from the Use of Glyphosate Formulations to Control the Production of Coca in Colombia: Overview and Conclusions. **Journal of Toxicology Environmental Health Part A**, v. 72, n. 15-16, p. 914-920, 2009. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/26734253_Human_Health_and_Environmental_Risks_from_the_Use_of_Glyphosate_Formulations_to_Control_the_Production_of_Coca_in_Colombia_Overview_and_Conclusions. Acesso em: 10 fev. 2022.

SOUZA, Laurindo Pereira *et al.* Taxa de sobrevivência após intoxicação por paraquat: impacto das variáveis clínicas emergenciais e laboratoriais. **Rev Rene**. n. 22, 2021. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/60390/1/2021_art_lpsouza.pdf. Acesso em: 10 fev. 2022.

TAKEUCHI, Eri. **Aplicação da metodologia RBCA para o município de Porto Alegre: Definição de níveis aceitáveis baseados no risco para hidrocarbonetos**. 2008. 157 p. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2008. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/12533/000629610.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 28 jul. 2022.

VACCARI, Carolina *et al.* Paraquat and Parkinson's disease: a systematic review protocol according to the OHAT approach for hazard identification. **Systematic Reviews**, v.6, p. 327-345, 2017. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/174576>. Acesso em: 28 jul. 2022.

VASCONSELLOS, Paula Renata Olegini *et al.* Exposição a agrotóxicos na agricultura e doença de Parkinson em usuários de um serviço público de saúde do Paraná, Brasil. **Caderno de saúde coletiva**, v. 28, n. 4, 2020. Disponível em: [https://www.scielo.br/j/cadsc/a/rZvWqRcHvNfYrQmvpZp46Ft/#:~:text=De%2048%20in div%C3%ADduos%20identificados%2C%2032,%25\)%20e%2C%20destes%2C%2050%25](https://www.scielo.br/j/cadsc/a/rZvWqRcHvNfYrQmvpZp46Ft/#:~:text=De%2048%20in div%C3%ADduos%20identificados%2C%2032,%25)%20e%2C%20destes%2C%2050%25). Acesso em: 10 fev. 2022.

VERMA, Neelam; BHARDWAJ, Atul. Biosensor Technology for Pesticides. **Appl Biochem Biotechnol**. n. 175, p. 3093–3119, 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/271079871_Biosensor_Technology_for_Pesticides-A_review. Acesso em: 10 fev. 2022.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Disponível em: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/2256>. Acessado em 14 de março de 2022.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Risk Assessment Guidance for Superfund - Volume I - Human Health Evaluation Manual (Parte A). Document Number: EPA/540/1-89/002, 1989. 287p.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Integrated Risk Information System: IRIS**. Washington, DC: Environmental Protection Agency, 2019.

ZILLI, Jerri Édson *et al.* Efeito de glyphosate e imazaquin na comunidade bacteriana do rizoplano de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) e em características microbiológicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 2, p. 633-642, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/gwJLbJh6YWkJjyKh4nzfJGq/?lang=pt>. Acesso em: 6 ago. 2022.

WHO. **World Health Organization**. Poisoning Prevention and Management. 2018.