

Dossiê Parque Estadual do Turvo (PET) - Yucumã

Estimativa do potencial de contaminação das águas por agrotóxico e avaliação de riscos à saúde humana no município de Derrubadas (RS)

Estimating the potential for water contamination by pesticides and assessing the risks to human health in the municipality of Derrubadas (RS)

Estimación del potencial de contaminación del agua por plaguicidas y evaluación de los riesgos para la salud humana en el municipio de Derrubadas (RS)

Tariana Lissak Schüller¹ , **Caroline Emiliano Santos¹** ,
Malva Andrea Mancuso¹ 

¹Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil

RESUMO

Considerando a intensa atividade agrícola que ocorre no entorno do Parque Estadual do Turvo-PET (Derrubadas, RS) e o consumo de agrotóxicos realizado pelo município, este estudo tem por objetivo avaliar o potencial de contaminação dos recursos hídricos subterrâneo em decorrência do uso dos agroquímicos Glifosato, Mancozebe, Dicloreto de Paraquat e Atrazina, e avaliar o risco à saúde humana causado pela inalação dos mesmos no meio em que eles são aplicados (o que inclui a zona de amortecimento do PET). O potencial contaminação das águas, foi avaliado por meio da estimativa do Fator de Retardo e do Fator de Atenuação (AF/RF), enquanto a análise de risco à saúde humana, foi realizada pelo método de avaliação de riscos à saúde humana para fins de gerenciamento de áreas contaminadas. No que se refere ao grau de toxicidade, o Dicloreto de Paraquat é extremamente tóxico; a Atrazina e o Mancozebe são moderadamente tóxicos; e o Glifosato pouco tóxico. Em relação ao Fator de Retardo (RF) o Glifosato, o Mancozebe e o Dicloreto de Paraquat apresentaram muito alto potencial de ficar adsorvidos ao solo (RF > 10); enquanto a Atrazina apresentou alto potencial. Segundo o Fator de Atenuação (AF), a Atrazina apresentou alto potencial de ser lixiviados para as águas subterrâneas; o Mancozebe apresentou baixo potencial de lixiviar; e o Glifosato e o Dicloreto de Paraquat apresentaram muito baixo potencial de lixiviar para as águas subterrâneas. O Dicloreto de Paraquat, devido às suas propriedades extremamente tóxicas, foi identificado como o agrotóxico mais perigoso, apresentando risco à saúde humana do trabalhador rural adulto por inalação quando associado ao solo.

Palavras-chave: Agricultura; Toxicidade; Exposição

ABSTRACT

Considering the intense agricultural activity that takes place around the Turvo-PET State Park (Derrubadas, RS) and the consumption of agrochemicals by the municipality, this study aims to assess the potential for contamination of underground water resources due to the use of the agrochemicals Glyphosate, Mancozeb, Paraquat Dichloride, and Atrazine, and to evaluate the risk to human health caused by inhaling them in the environment in which they are applied (which includes the PET buffer zone). Potential water contamination was assessed by estimating the Delay Factor and the Attenuation Factor (AF/RF), while the human health risk analysis was carried out using the human health risk assessment method for the management of contaminated areas. With regard to the degree of toxicity, Paraquat Dichloride is extremely toxic; Atrazine and Mancozeb are moderately toxic; and Glyphosate is slightly toxic. With regard to the Retardation Factor (RF), Glyphosate, Mancozeb and Paraquat Dichloride had a very high potential to adsorb to the soil ($RF > 10$); while Atrazine had a high potential to adsorb to the soil ($RF > 10$). According to the Attenuation Factor (AF), Atrazine had a high potential to leach into groundwater; Mancozeb had a low potential to leach; and Glyphosate and Paraquat Dichloride had a very low potential to leach into groundwater. Due to its extremely toxic properties, Paraquat Dichloride was identified as the most dangerous pesticide, posing a risk to the human health of adult rural workers through inhalation when associated with soil.

Keywords: Agriculture; Toxicity; Exposure

RESUMEN

Teniendo en cuenta la intensa actividad agrícola que tiene lugar en los alrededores del Parque Estatal de Turvo-PET (Derrubadas, RS) y el consumo de agroquímicos por parte del municipio, este estudio tiene como objetivo evaluar el potencial de contaminación de los recursos hídricos debido al uso de los agroquímicos Glifosato, Mancozeb, Dicloruro de Paraquat y Atrazina, y evaluar el riesgo para la salud humana causado por la inhalación de los mismos en el entorno en el que se aplican (que incluye la zona tampón del PET). La contaminación potencial del agua se evaluó mediante la estimación del Factor de Retraso y el Factor de Atenuación (AF/RF), mientras que el análisis del riesgo para la salud humana se llevó a cabo utilizando el método de evaluación del riesgo para la salud humana en la gestión de zonas contaminadas. En cuanto al grado de toxicidad, el Dicloruro de Paraquat es extremadamente tóxico; la Atrazina y el Mancozeb son moderadamente tóxicos; y el Glifosato es ligeramente tóxico. Con respecto al Factor de Retardación (RF), el Glifosato, el Mancozeb y el Dicloruro de Paraquat tenían un potencial muy alto de adsorberse en el suelo ($RF > 10$), mientras que la Atrazina tenía un potencial alto. Según el Factor de Atenuación (FA), la Atrazina tenía un alto potencial de lixiviación a las aguas subterráneas; el Mancozeb tenía un bajo potencial de lixiviación; y el Glifosato y el Dicloruro de Paraquat tenían un potencial muy bajo de lixiviación a las aguas subterráneas. Debido a sus propiedades extremadamente tóxicas, el dicloruro de paraquat fue identificado como el plaguicida más peligroso, ya que supone un riesgo para la salud humana de los trabajadores rurales adultos por inhalación cuando se asocia con el suelo.

Palabras-clave: Agricultura; Toxicidad; Exposición

1 INTRODUÇÃO

A utilização de agrotóxicos na lavoura surgiu com o propósito de minimizar as perdas geradas pelo ataque de pragas e de aumentar a produção. Porém, a configuração dos sistemas de produção intensivos elevou a necessidade do uso dos agrotóxicos, tornando a lavoura em uma grande fonte de poluição difusa que atinge o ar, a água, o solo e até mesmo os seres humanos (Cabrera, Costa; Primel, 2008).

Foi na década de 70 que o Brasil expandiu a utilização de agrotóxicos, com vistas a ampliar a produção agrícola que foi potencializado por políticas públicas de crédito rural (Moreira *et al.*, 2002). A quantidade de agrotóxicos comercializados no Brasil aumentou 2,8 vezes o que cresceu a área cultivada no país, entre 2010 e 2020. Tal afirmação é explicada com os seguintes dados, somando as áreas de lavouras temporárias e permanentes passou-se de 65.374.591 hectares em 2010 para 83.396.004 hectares em 2020, um aumento de 27,6%. Já o aumento na quantidade de agrotóxicos passou de 384.501,28 toneladas de ingredientes ativos vendidas em 2010 para 685.745,68 em 2020, um aumento de 78,3% na quantidade de agrotóxicos comercializados no Brasil (Hess, 2022)

O Rio Grande do Sul utilizou entre 2012 e 2014 cerca de 9,05 kg/ha de agrotóxico correspondendo à 92.697 ton/ano (Bombard, 2017).

Considerando a poluição de recursos hídricos, os agrotóxicos chegam até a água por mecanismos de retenção, transformação e transporte (incluindo lixiviação) (Spadotto, 2006). O comprometimento desse recurso gera grande prejuízo à saúde humana, uma vez que águas de fontes superficiais e subterrâneas são utilizadas para abastecimento humano. Com isso, há necessidade de estudos que avaliem a migração desses agrotóxicos até os recursos hídricos (Lourencetti *et al.*, 2009).

Nesse cenário destaca-se a importância de avaliar a mobilidade do agrotóxico em subsolo, que é possibilitada pela aplicação de produtos de forma a favorecer o potencial de lixiviação de ingredientes ativos, que podem atingir as águas superficiais e/ou subterrâneas, indicado nesta pesquisa a partir do modelo de Fator de Atenuação / Fator de Retardo (AF/RF). O Fator de Retardo indica a adsorção do agrotóxico no solo

e o Fator de Atenuação estima a fração de um pesticida que, após aplicado, lixivia no perfil do solo. Esse modelo de análise foi proposto por Rao *et al.* (1985) e considera as características físico-químicas do agrotóxico, as características do solo e as condições climáticas, facilitando a análise da mobilidade e a adsorção das substâncias no ambiente (Gaona *et al.*, 2019; Santos; Leite, 2016; De Paz; Rubio, 2006).

Também, é importante identificar o risco oferecido no meio em que o agrotóxico é aplicado, pois o potencial de perda de agrotóxicos em águas superficiais ou a mobilidade por lixiviação dependem da combinação produto, solo, clima e fatores de manejo. Nesse sentido, é realizada a análise do comportamento ambiental dos agrotóxicos (Ferracini *et al.*, 2001).

Além dos impactos ambientais, outro problema decorrente da utilização desses produtos são as intoxicações ao ser humano, sendo que essas intoxicações são consideradas como um problema significativo de saúde pública, devido aos gastos, anos perdidos de vida e número de óbitos (Who, 2018). Ao que mostra o estudo de Ferreira (2013) para cada dólar gasto com a compra de agrotóxicos no Estado do Paraná, cerca de US\$1,28 é o valor que seria de custo externo com a situação de intoxicação.

Neste estudo foi avaliado o potencial de contaminação dos recursos hídricos do município de Derrubadas (RS), considerando o uso e ocupação do solo, com o objetivo de desenvolver informações para a tomada de decisão dos órgãos públicos quanto ao controle da qualidade e proteção dos recursos hídricos. Ainda, foi avaliado o risco à saúde humana causado pela inalação de agrotóxicos no meio em que ele é aplicado.

Dessa forma, este artigo abordado inicialmente a descrição das características dos principais agrotóxicos utilizados no município de Derrubadas, o seu potencial de contaminação e a análise de risco à saúde humana decorrente da utilização dos mesmos.

2 ÁREA DE ESTUDO

O município de Derrubadas (RS), com área total de 360,851 km², tem uma população de 2.749 habitantes, sendo 70% dela habitantes de áreas rurais (IBGE, 2022).

Destaca-se no município a presença do Parque Estadual do Turvo, que ocupa quase 50% da área total (Figura 1).

Figura 1 – Localização do Município de Derrubadas (RS)



Fonte: Autores/as

Sob o ponto de vista geológico, ocorrem no município os derrames fissurais, compostos por rochas basálticas alcalinas que foram estratificadas ao longo de eventos consecutivos. Nessas terras observa-se o resultado de uma intensa meteorização de basaltos alcalinos e da remoção parcial dos resíduos laterizados antigos (Cunha, Silveira, Severo, 2006).

Os solos apresentam processos intensivos de transformação e atualmente estão caracterizados como Neossolos Regolíticos Eutróficos típicos e Cambissolos Háplicos Eutroféricos chernossólicos; e nas pequenas mesetas ainda existentes observam-se solos mais antigos, como os Nitossolos Vermelhos Eutroféricos chernossólicos, Argissolos Vermelhos Eutroféricos chernossólicos e Chernossolos Argilúvicos Férricos Saprólíticos (Cunha, Silveira, Severo, 2006).

3 CARACTERÍSTICAS DOS PRINCIPAIS AGROTÓXICOS

Desde 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 fungicidas, herbicidas e inseticidas. Dentre os agrotóxicos mais utilizados no município de Derrubadas em 2018, destacam-se o Glifosato, o Dicloreto de Paraquat, a Atrazina e o Mancozebe (Santos, 2021).

O Glifosato é um herbicida não-seletivo, sistêmico e pós-emergente. É o herbicida mais vendido em todo o planeta, considerando que representa cerca 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 (Cerqueira; Duke, 2006).

Conforme a bula do Glifosato (Nortox, 2022), 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, pêsego e uva. Entre estas, as culturas mais comuns na região de Derrubadas são a soja, milho, o trigo e a cana-de açúcar. Ainda, 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 e uma depois do plantio (Nortox, 2022).

O Paraquat ou Dicloreto de Paraquate (1,1'-dimetil-4,4'-bipiridina-dicloreto), é um herbicida que começou a ser utilizado nos anos 60. Devido ao seu baixo custo e boa eficácia foi um dos herbicidas agrícolas mais usados em todo o mundo, sendo comercializado sob diferentes nomes e formulações. Segundo pesquisas de Lu *et al.* (2017), esse produto, se usado incorretamente ou ingerido por via oral é altamente tóxico para os humanos.

Em 2017, por meio da RDC nº 177 (Brasil, 2017), a ANVISA decidiu banir o Paraquat, concedendo três anos de prazo para a transição. Esse prazo encerrou em 30 de março de 2021. Até então, ele 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, como recomendação, duas aplicações do produto (Alta, 2019).

A Atrazina pertence à classe das trazinas é, assim como os anteriores, é um herbicida muito utilizado no mundo, porém os efeitos deste herbicida nos organismos a nível molecular ainda não são bem conhecidos, principalmente em espécies aquáticas (Mendonça, 2015).

Para a ANVISA, a atrazina é classificada como classe III de toxicidade, assim sendo considerada medianamente tóxica (Brasil, 2019). 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).

No que se refere ao Mancozebe, é um fungicida que pertence ao grupo dos etilenobisditiocarbomatos (EBD's) e é um dos pesticidas mais utilizados pelos agricultores, devido à baixa toxicidade aguda (Jacinto, 2015). Pode ser utilizado nas culturas de algodão, amendoim, arroz, aveia, banana, batata, cevada, centeio, ervilha, feijão, fumo, milheto, milho, soja, sorgo, tomate, trigo, triticales, 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, medianamente tóxico (BRASIL, 2019).

4 METODOLOGIA

Descreve-se, a seguir, a metodologia utilizada para estimar o potencial de potencial de lixiviação e de adsorção do pesticida no perfil do solo e para o cálculo de risco à saúde humana do produtor rural.

4.1 Estimativa do potencial de contaminação das águas

A partir do modelo proposto por RAO et al. (1985) é possível estimar o potencial de lixiviação e de adsorção do pesticida no perfil do solo, por meio do Fator de Atenuação

(AF) e do Fator de Retardo (RF). Sendo que RF é representado pela equação 1.

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

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

A espacialização dos tipos de solos (Latosolo e Cambissolo) no município de Derrubadas foi obtida a partir da Cunha *et al.* (2006). Os parâmetros pedológicos de densidade do solo, teor de carbono orgânico, capacidade de campo e porosidade (Tabela 1) foram espacializados de acordo com os tipos de solo.

Tabela 1 – Características dos solos do município de Derrubadas (RS) utilizadas nos cálculos do Fator de Retardo (RF) e o Fator de Atenuação (AF)

Tipo de Solo	p	OC	FC	δ
Latosolo	1,48 ¹	0,015 ³	0,36 ⁵	0,33 ⁷
Cambissolo	0,93 ²	0,018 ⁴	0,44 ⁶	0,54 ⁸

Fonte: 1Ortigara et al., 2014; 2Giarola et al., 2002; 3Silva, 2008; 4Luciano, R. V. et al., 2010; 5Cherubin et al., 2015; 6Giarola et al., 2002; 7Mazurana, 2011; 8Balbinot et al., 2009

As variáveis de recarga líquida (q) e a profundidade (L) foram calculadas em ambiente SIG (ESRI, 2014). A recarga foi calculada a partir de séries históricas de precipitação no período de 1988 a 2018, que estão disponíveis no site da Agência Nacional das Águas (Ana, 2019), sendo estimada em 23% do total precipitado (Baum *et al.*, 2018).

O Fator de Atenuação (AF) representa a fração da massa de pesticida aplicada que é lixiviada no perfil de solo ou rocha até uma determinada profundidade, sendo calculado por meio da equação 2.

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

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

A profundidade (L) máxima da zona não saturada (ou espessura da zona não saturada) nas áreas com alteração de basaltos da Formação Serra Geral foi estimada entre 25 m (nos topos de morro) e 0 m nos corpos hídricos (neste caso não haveria lixiviação no perfil geológico e o contaminante escoaria em superfície diretamente para o corpo hídrico). A distribuição espacial das profundidades (com variação linear calculada entre os topos de morro e os cursos d'água) foi estimada a partir da carta topográfica 1:50.000 do município (Banco de Dados Geográfico do Exército) (BDGEx, 2019). Essa espessura máxima foi definida a partir de dados de estudos hidrogeológicos realizados em áreas de basaltos da Formação Serra Geral (Wildner *et al.*, 2005; Baum *et al.*, 2018; Mancuso *et al.*, 2014).

A espessura da zona não saturada foi calculada pela diferença entre os mapas de altitude topográfica (em raster) e o mapa de profundidade da zona saturada (níveis de água superficial e subterrâneos cartografados em raster), utilizando o software ArcGIS® 10.2 (ESRI, 2014). O cálculo resultou em um mapa de espessuras variáveis entre 0 m (na interseção da topografia com os corpos hídricos) e profundidades até 25 m.

O método de estimativa AF/RF permite a sua utilização com o objetivo de definir um programa de monitoramento e diretrizes de proteção das águas subterrâneas, não possibilita, entretanto, estimar a concentração final do agrotóxico (De Paz; Rubio, 2006).

4.2 Avaliação de risco

Para a realização da análise de risco 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).

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 - SQI 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, para identificar as incertezas que decorrem do processo de avaliação de risco.

4.2.1 Avaliação de exposição

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.

Caracterização dos cenários de exposição

Para a caracterização dos cenários de exposição foi considerado como meio físico de exposição o solo (a superfície em contato do agricultor). A via de ingresso utilizada foi inalação de partículas de solo. Considerando que os receptores são organismos, comunidades, habitat sensível ou ecossistemas que estejam exposto direta ou indiretamente a um ou mais compostos químicos associados a um evento de contaminação (ABNT, 2013), neste estudo foi considerado como receptor o trabalhador adulto de áreas rurais.

Substâncias químicas de interesse (SQI)

As SQI selecionadas foram Glifosato, Dicloreto de Paraquate, Atrazina e Mancozebe, definidas a partir do estudo realizado por Santos (2021), que indicou esses agrotóxicos como sendo os seis mais utilizados no ano de 2018 em Derrubadas. Para estimar as concentrações de aplicação das SQIs, foram inicialmente selecionadas as principais culturas plantadas em 2018 na região, sendo elas soja, milho, fumo, trigo, feijão, mandioca, aveia e cana-de-açúcar; e identificados os quantitativos de agrotóxicos utilizados, com base no volume total comercializado de cada um deles

(Santos, 2021) (Tabela 2), a área plantada de cada cultura e a respectiva receita de aplicação (constante nas bulas e em bibliografia).

Tabela 2 – Quantidade de agrotóxicos utilizados no município de Derrubadas no ano de 2018 (em L/ano ou kg/ano)

Quantidade de agrotóxico utilizado por município				
Municípios	Glifosato (L/ano)	Dicloreto de Paraquate (L/ano)	Atrazina (L/ano)	Mancozebe (kg/ano)
Derrubadas	26018,90	9870,70	3744,00	3441,00

Fonte: Construído a partir de Santos (2021)

Para cada uma das SQI foi considerada a orientação de aplicação em cada cultura e a área plantada com a respectiva cultura. 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 de uso de determinado agrotóxico, e o total da SQI aplicada foi dividida pela área total (considerando uma ou mais culturas) onde essa SQI tem indicação de aplicação (segundo a bula ou bibliografia). Assim foi obtida a quantidade de produto utilizado por aplicação.

A concentração de determinado agrotóxico em kg de solo (mL/kg ou mg/kg), foi estimada considerando o tipo de solo predominante no município. No caso do município de Derrubadas, a área é composta por dois tipos de solo, sendo else Cambissolo e Latossolo, porém, para a análise de risco foi considerado apenas o Cambissolo, por esse predominar no município. (EMBRAPA, 2001).

A partir do tipo de solo, foi estimado o seu peso específico, considerando a densidade (ρ) do solo tipo Cambissolo, que é de $0,93 \text{ g/cm}^3$ (Tabela 1). Assim, foi calculado o volume do solo considerando uma profundidade igual a 1 m ou 100 cm, conforme recomendado pela NBR 16.209/2013 (ABNT, 2013) e calculado o seu peso específico.

A concentração de determinado agrotóxico (em mL ou mg) / kg de solo foi estimada dividindo a quantidade agrotóxico utilizado no município por m^2 (L/m^2 ou kg/m^2) pelo peso específico do solo. Para obter a unidade de medida de concentração

do agrotóxico em mg/kg, as conversões foram realizadas conforme a metodologia indicada na NBR 16.209/2013 (ABNT, 2013).

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).

No modelo conceitual de exposição, foi considerado como localização da contaminação o a superfície do terreno (solo superficial); as rotas de exposição foram a inalação e os receptores localizados na própria fonte de contaminação.

Quantificação do ingresso

A quantificação do ingresso é realizada conforme a via de ingresso. Neste estudo, foi considerada a via de exposição de inalação a partir do solo superficial.

O cálculo do In (ingresso) pela inalação de partículas do solo foi realizado a partir da Equação (3):

$$In_{inalação} = C_{solo.superficial} \times \frac{IR \times EF \times ET \times EV \times ED}{BW \times AT} \quad (3)$$

Os parâmetros utilizados para o In_{inalação} foram retirados das planilhas de avaliação de risco da Cetesb (CETESB, 2021) e estão descritos na Tabela 3.

Tabela 3 – Parâmetros de exposição utilizados para cálculo de ingresso de substâncias selecionadas para a avaliação de risco à saúde humana do trabalhador rural do município de Derrubadas (RS) Continua...

Variável	Descrição	Valor adulto
$C_{solo.superficial}$	Concentração do elemento no solo	Calculado em (mg/kg)
EF	Frequência da exposição para contato dérmico com solo superficial	350 (d/a)

Tabela 3 – Parâmetros de exposição utilizados para cálculo de ingresso de substâncias selecionadas para a avaliação de risco à saúde humana do trabalhador rural do município de Derrubadas (RS)

Variável	Descrição	Valor adulto	Conclusão
EV	Frequência de eventos para contato dérmico com o solo	1 (eventos/d)	
ED	Duração da exposição	78 Anos	
BW	Massa corpórea	69 kg	
ATnc	Tempo médio para efeito carcinogênico	28.616 dias	
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	

Fonte: Adaptado de CETESB (2021)

4.2.2 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.

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 constam dados toxicológicos de substâncias químicas publicados previamente pela USEPA.

4.2.3 Caracterização do risco

Foi realizada a quantificação do risco individualmente, para cada SQI, considerando

seu efeito carcinogênico e não carcinogênico, para o caminho de exposição identificado no modelo conceitual de exposição da área de interesse, conforme diretriz da NBR 16.209/2013 (ABNT, 2013). Das quatro SQI's estudadas apenas a Atrazina é classificada pela USEPA como carcinogênica e, as demais são classificadas como não carcinogênicas. Dessa forma, neste estudo serão calculados apenas os efeitos não carcinogênicos das quatro substâncias, sendo esses encontrados por meio da Equação (4).

$$QR_{in} = \frac{I_n}{RfD_n} \quad (4)$$

Onde:

QR_{in} = Quociente de risco para a SQI n;

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

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

4.2.4 Análise de incertezas

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

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

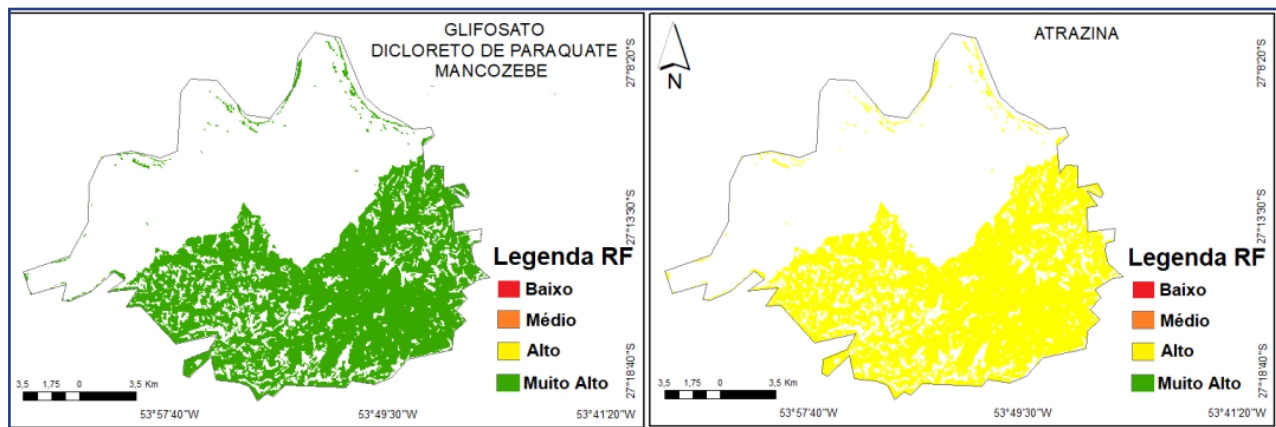
Apresentam-se, a seguir, os resultados obtidos nas estimativas dos Fatores de Retardo e de Atenuação relativo à aplicação dos agrotóxicos em solo, para a atividade agrícola, e a avaliação de risco à saúde humana por inalação.

5.1 Estimativa do Fator de Retardo e de Atenuação

A análise do potencial de adsorção (Fator de Retardo) dos quatro agrotóxicos de maior relevância aplicados nos solos agrícolas dos municípios estudados indica os agrotóxicos Glifosato, Dicloreto de Paraquat e Mancozeb possuem muito alto potencial de ficar adsorvidos ao solo, enquanto a Atrazina, possui alto potencial (Figura 2).

O potencial de muito alta ou alta adsorção ao solo diz respeito às características do coeficiente de afinidade do agrotóxico com a matéria orgânica do solo (K_{oc}) e depende de cada agrotóxico. O potencial de adsorção também depende do tipo de solo, pois solos com características mais argilosas, como é o caso do Latossolo, possuem maior superfície específica com alta capacidade de adsorver agrotóxicos. Outro fator que influencia sobre as características do agrotóxico é a constante da Lei de Henry (K_H), pois os agrotóxicos que apresentaram elevado Fator de Retardo (RF), possuem baixos valores de K_H (entre 10^{-10} e 10^{-4}).

Figura 2 – Fator de Retardo para os agrotóxicos Glifosato, Dicloreto de Paraquat, Mancozeb e Atrazina, utilizados para a atividade agrícola no município de Derrubadas (RS)



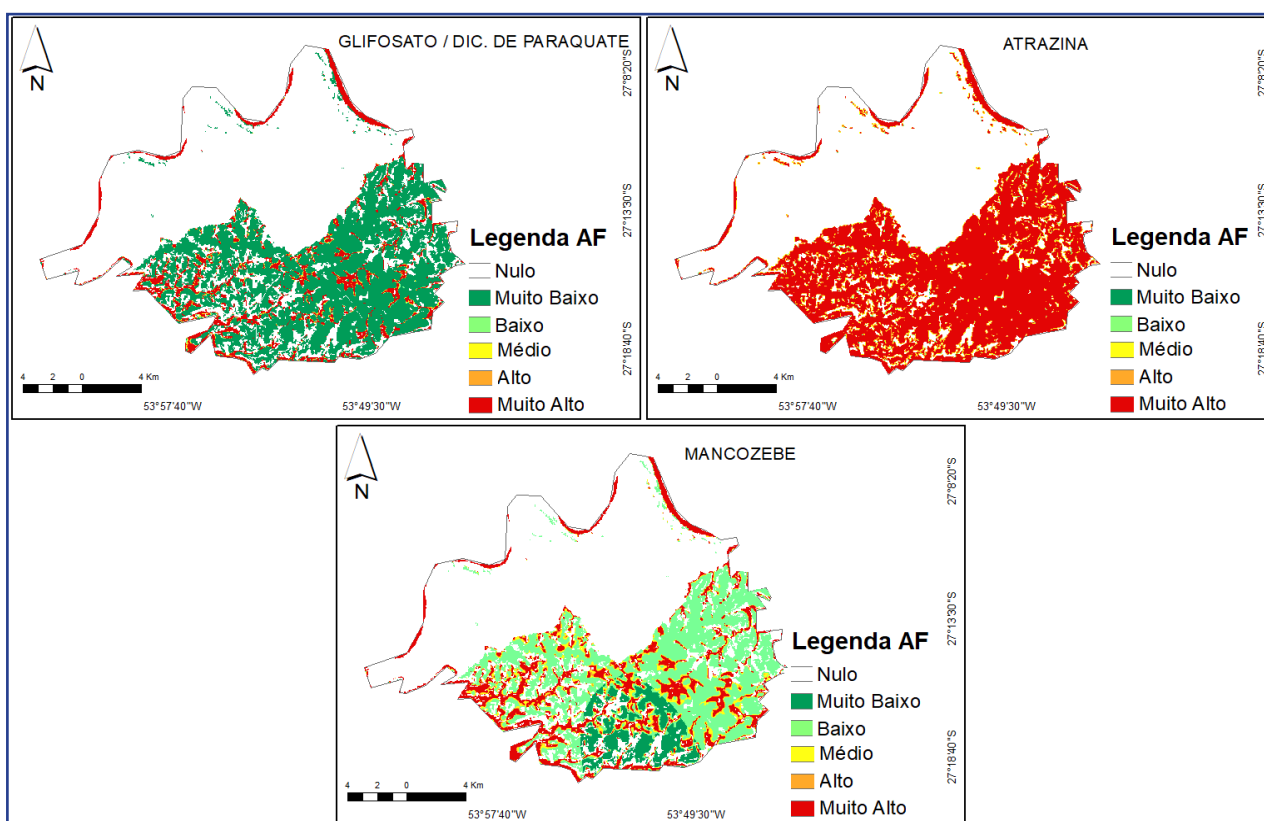
Fonte: Autores/as

Contudo, o manejo do solo também influencia no comportamento do agrotóxico que, ao ser aplicado em solos com elevada matéria orgânica (como é o caso dos que têm aplicação simultânea com fertilizantes orgânicos como esterco, dejetos bovinos e suínos, entre outros), tende a ficar adsorvido no solo, diminuindo, assim, a sua mobilidade. Por outro lado, quando ocorre um aumento do conteúdo de carbono orgânico em solução no solo, a mobilidade do agrotóxico pode ser ativada, pois o carbono orgânico em solução favorece a complexação, possibilitando o transporte do agrotóxico para as camadas mais profundas (Ribeiro *et al.*, 2007).

Quanto à aplicação do Fator de Atenuação (AF), os agrotóxicos com muito alto ou alto potencial de adsorção ao solo (RF) apresentam Fatores de Atenuação

negativos, e são classificados com potencial de lixiviação nulo ou muito baixo para águas subterrâneas (Figura 3). A exceção é a Atrazina, o que pode ocorrer devido a seu alto tempo de meia vida, pois na aplicação do Fator de Retardo (RF) essa informação não é considerada (Canuto *et al.*, 2010; Félix *et al.*, 2007). Assim, os agrotóxicos que apresentam maior persistência no ambiente (alto valor de $t_{1/2}$ e K_{oc} menor) têm maior potencial de contaminação das águas subterrâneas (Rao *et al.*, 1985). Tais resultados são observados em Cambissolo e Latossolo para Dicloreto de Paraquate e Glifosato, e somente em Latossolo para Mancozebe (Figura 3).

Figura 3 – Fator de Atenuação para os agrotóxicos do estudo em Derrubadas (RS) demonstrando áreas onde têm baixa intensidade e áreas de maior intensidade dependendo do tipo de agrotóxico aplicado



Fonte: Autores/as

Considerando a proximidade com os corpos hídricos, na área de estudo há elevada tendência de contaminação de rios e lagos, e de ocorrência de transporte por via hídrica superficial e subterrânea desses compostos, principalmente em função da baixa espessura não saturada nas proximidades dos cursos d'água. Destaca-se que

parte das nascentes que alimentam o Parque Estadual do Turvo estão localizadas na área de amortecimento do PET, que é utilizada para a agricultura intensiva.

5.2 Análise de risco

5.2.1 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 ele tem um contato mais próximo com as SQI no momento da aplicação do agrotóxico em solo superficial. Além disso, considerou-se que o receptor não estaria utilizando Equipamento de Proteção Individual (EPI) durante a aplicação do produto, o que possibilitou avaliar o pior cenário de contaminação, porém, sabe-se que a utilização do equipamento diminuiria o risco de contaminação ao receptor.

Foi considerado apenas um cenário de exposição, sendo ele quando as doses do produto são aplicadas com repetições ou respeitando as indicações da bula das SQI. Como rota de exposição para o trabalhador rural, foi considerada a de inalação de partículas de solo contaminado.

5.2.2 Caracterização toxicológica das SQI

O herbicida Dicloreto de Paraquate foi caracterizado pela ANVISA (BRASIL, 2019) como extremamente tóxico (Classe I). Esse agrotóxico é proibido de ser vendido no Brasil devido aos seus riscos à saúde e sua elevada toxicidade.

Já os classificados como classe III - medianamente tóxicos, são a Atrazina e o Mancozebe. De acordo com essa classificação, esses produtos podem ser tóxicos se ingeridos, inalados ou se tiverem contato com a pele (Brasil, 2019; IARC, 2018 e USEPA, 2019).

O Glifosato que é um dos herbicidas mais utilizado no mundo, sendo classificado como pouco tóxico (Classe IV). Essa classificação significa que o produto pode ser nocivo se ingerido, inalado ou se tiver contato com a pele (Brasil, 2019; IARC, 2018 e USEPA, 2019).

Todos os agrotóxicos citados apresentam alguma relação com o câncer, porém a USEPA (2019) caracteriza apenas a Atrazina como carcinogênica. Os demais agrotóxicos são classificados pela USEPA como não carcinogênicos. Nesse caso foram avaliados apenas riscos não carcinogênicos sendo que, os parâmetros toxicológicos estão indicados na Tabela 4.

Tabela 4 – Parâmetros toxicológicos das SQI selecionadas para cálculo de análise de risco a saúde humana por inalação de solo contaminado, no município de Derrubadas (RS)

Substância	Dose de Referência (RfD) (mg/kg-dia)	Fator de Absorção Dérmica (ABSd)
Glifosato	1,00E-01	1,00E-01
Dicloreto de Paraquate	4,50E-03	1,00E-01
Atrazina	3,50E-02	1,00E-01
Mancozebe	3,00E-02	1,00E-01

Fonte: CETESB (2021)

Os valores de RFD adotados foram retirados das planilhas de avaliação de risco da CETESB (2021) que indica como referência valores recomendados pela USEPA e os adapta para a utilização no Brasil.

5.2.3 Caracterização do risco

No município de Derrubadas (RS) foi estimada a seguinte concentração de SQIs aplicada em solos cultivados no ano de 2018: 0,105 mg/kg de Glifosato, 0,036 mg/kg de Dicloreto de Paraquate, 0,174 mg/kg de Atrazina e 0,013 mg/kg de Mancozebe.

Foram aplicadas as equações de ingresso e de risco para o cenário de exposição de inalação de partículas de solo, considerando os dados de concentração das SQI e o

risco à saúde do trabalhador rural pela presença de agrotóxicos no solo considerando o cenário de exposição de inalação foi de 0,140 para o Glifosato, 1,06 para o Dicloreto de Paraquate, 0,661 para Atrazina e 0,00573 para o Mancozebe.

Para substâncias não carcinogênicas, como é o caso dessas substâncias, caracteriza-se como risco quando o resultado das equações for superior a 1 (ABNT, 2013). De acordo com o resultado obtido, foi encontrado risco não carcinogênico para a substância Dicloreto de Paraquat no município de Derrubadas (RS). 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 Doença de Parkinson - 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 as demais SQI's analisadas não foi encontrado risco referente a inalação de solo superficial.

5.2.4 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. A análise de incertezas em estudos quantitativos de risco possibilita a transparência na tomada de decisão acerca do risco quantificado.

Neste estudo, os dados de consumo das SQI não foram coletados diretamente em campo, sendo 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 agrônômica), 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 SQIs presentes no solo por área plantada, podendo levar a erros de estimativas em função da subnotificação do consumo das SQIs e da forma de aplicação.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi identificado que os agrotóxicos mais utilizados no município de Derrubadas no ano de 2018 foram Glifosato, Dicloreto de Paraquate, Atrazina e Mancozebe. Todos eles apresentam muito alto (Glifosato, Dicloreto de Paraquate e Mancozebe) a alto (Atrazina) potencial de ficar retido ao solo.

Quanto à mobilidade dos mesmos e o risco de contaminar as águas, a depender das características de K_{oc} , $t_{1/2}$ e K_H , nesse estudo a atrazina é o agrotóxico que apresenta potencial de contaminação das águas subterrâneas.

O Dicloreto de Paraquat, devido às suas propriedades extremamente tóxicas, pode ser identificado como o agrotóxico mais perigoso no contexto do município de Derrubadas (RS), apresentando risco à saúde humana do trabalhador rural adulto por inalação quando associado ao solo. É fundamental o controle rigoroso para a extinção de uso do produto, de forma a evitar a exposição pública, visto a sua relação com distúrbios respiratórios graves, danos aos pulmões e ao sistema cardiovascular, além dos possíveis efeitos negativos ao sistema nervoso.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - **ANA. HIDROWEB**: Dados Hidrológicos – Séries Históricas. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>. Acesso em: jun. 2019.

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.

AMARAL, E. I. **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) – FIOCRUZ – 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.

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.

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

BANCO DE DADOS GEOGRÁFICOS DO EXÉRCITO – BDGEEEx. **Carta Topográfica Vetorial 1:50.000**. Disponível em: <https://bdgex.eb.mil.br/bdgex/?controller=index&action=index&module=default&>. Acesso em: nov. 2019.

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

BOMBARDI, L. **Geografia do uso de agrotóxicos no Brasil e conexões com a União Europeia**. FFLCH – USP. 1ª ed. 296 p. 2017.

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

CABRERA, L.; COSTA, F.; PRIMEL, E. G. Estimativa de risco de contaminação das águas por pesticidas na região sul do estado do RS. **Química Nova**. v. 31. 2008.

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

CARNEIRO, F. F. 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/dossieagrototoxicos/wp-content/uploads/2013/10/DossieAbrasco_2015_web.pdf. Acesso em: 10 fev. 2022.

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.

CERDEIRA, A L; DUKE, S. 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 – **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.

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

CUNHA, N. G. da; SILVEIRA, R. J. C. da; SEVERO, C. R. S.. Estudo de solos do município de Derrubadas, RS, Pelotas – RS. **Embrapa Solos**, Circular 51, p. 1-62, 2006.

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

EMBRAPA - **Mapa de Solos do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2001 - Escala 1:5.000.000 ESRI. <https://support.esri.com/en/download/7680>. 2014.

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

FERREIRA, M. L. P. C. **A regulação do uso dos agrotóxicos no Brasil: uma proposta para um direito de sustentabilidade**. 2013. 346 p. Tese [Doutorado em Direito] - Centro de Ciências Jurídicas – Departamento de Direito, Universidade Federal de Santa Catarina, 2013.

FERRACINI, V.; PESSOA, M.; SILVA, A. S; SPADOTTO, C. A. Análise de risco de contaminação das águas subterrâneas e superficiais da região de Petrolina (PE) e Juazeiro (BA). **Pesticidas: R. Ecotoxicol. e Meio Ambiente**, v. 11, 2001.

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

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

HESS, S. C.; NODARI, R. O. Agrotóxicos no Brasil: Panorama dos produtos aprovados entre 2019 e 2022. **AMBIENTES EM MOVIMENTO**, v. 2, n. 2, 2022.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo 2022**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/derrubadas/panorama>. Acesso em: maio 2023.

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.

JACINTO, C. L. **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.

LOURENCETTI, C.; SILVA, F.; VECCHIATO, A. B.; WEBER, O. L.; DORES, E. F. Lixiviação de pesticidas em Latossolos da micro-bacia do Córrego Chico Nunes, Dom Aquino – MT. **Águas Subterrâneas**, 2009.

LU, X; Wu, D.; Gao, Y. and ZHANG, M. 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.

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

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

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

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

MOREIRA J.; PERES, F.; LIMA, J. & SILVANA, J. C. Avaliação integrada do impacto do uso de agrotóxicos sobre a saúde humana em uma comunidade agrícola de Nova Friburgo, **Ciênc. Saúde Col**. Rio de Janeiro - RS, v. 7, n. 2, p. 299 – 311, 2002.

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

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

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

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

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

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria de Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento Rural. **Sistema de Gestão Integrada de Agrotóxicos (SIG@)**, 2019. Disponível em: <https://www.agricultura.rs.gov.br/sig-clique-aqui>. Acesso em: 19 mar. 2022.

SANTOS, C. E. **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, 2021.

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

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

SPADOTTO, C. A. Abordagem interdisciplinar na avaliação ambiental de agrotóxicos. **JORNADA JURÍDICA DA FACULDADE MARECHAL RONDON**, 4. São Manuel, SP, p. 1-9, 2006.

PEIXOTO, S. C. **Estudo da estabilidade a Campo dos Pesticidas Carbofurano e Quincloraque em Água de Lavoura de Arroz Irrigado empregando SPE e HPLCDAD.** 2007. 108 f. Dissertação (Mestrado em Química) - 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.

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

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

VASCONSELLOS, P. R. O.; RIZZOTTO, M. L. F.; OBREGÓN, P. L.; ALONZO, H. G. A. 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%20indiv%C3%ADduos%20identificados%2C%2032,%25\)%20e%2C%20destes%2C%2050%25](https://www.scielo.br/j/cadsc/a/rZvWqRcHvNfYrQmvpZp46Ft/#:~:text=De%2048%20indiv%C3%ADduos%20identificados%2C%2032,%25)%20e%2C%20destes%2C%2050%25). Acesso em: 10 fev. 2022.

WHO. World Health Organization. **Poisoning Prevention and Management.** Disponível em: <http://www.who.int/ipcs/poisons/en/>. Acesso em: 5 março 2018.

WILDNER, W.; RAMGRAB, G. E.; LOPES, R. DA C.; IGLESIAS, C. M. DA F. **Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: CPRM.** Escala 1:750.000. (Projeto Mapas Estaduais - PME). 2005.

Contribuições de autoria

1 – Tariana Lissak Schüller

Universidade Federal de Santa Maria, Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental

<https://orcid.org/0000-0003-2950-6278> • tarianalissak@hotmail.com

Contribuição: Análise formal, investigação, metodologia, visualização, escrita - primeira redação, escrita - revisão e edição

2 – Caroline Emiliano Santos

Universidade Federal de Santa Maria, Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental

<https://orcid.org/0000-0002-2903-7005> • caroline_emiliano@hotmail.com

Contribuição: Análise formal, investigação, metodologia, visualização, escrita - primeira redação, escrita - revisão e edição

3 – Malva Andrea Mancuso

Universidade Federal de Santa Maria, Doutora em Ciências

<https://orcid.org/0000-0002-8252-534X> • malvamancuso@ufsm.br

Contribuição: Conceituação, metodologia, administração do projeto, supervisão, escrita - revisão e edição

Como citar este artigo

SCHÜLLER, T. L.; SANTOS, C. E.; MANCUSO, M. A. Estimativa do potencial de contaminação das águas por agrotóxico e avaliação de riscos à saúde humana no município de Derrubadas (RS). **Geografia Ensino & Pesquisa**, Santa Maria, v. 28, e85156, 2024. Disponível em: 10.5902/2236499485156. Acesso em: dia mês abreviado. ano.