

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA E RELAÇÕES INTERNACIONAIS
BACHARELADO EM DESENVOLVIMENTO RURAL
PLAGEDER**

MATEUS ZANELLA

**IMPACTOS DO USO DE HERBICIDAS UTILIZADOS EM CULTURA DE TRIGO
NO MEIO AMBIENTE E NA SAÚDE HUMANA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA
DA LITERATURA**

Porto Alegre

2022

MATEUS ZANELLA

**IMPACTOS DO USO DE HERBICIDAS UTILIZADOS EM CULTURA DE TRIGO
NO MEIO AMBIENTE E NA SAÚDE HUMANA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA
DA LITERATURA**

Trabalho de conclusão submetido ao Curso de Bacharelado em Desenvolvimento Rural – PLAGEDER, da Faculdade de Ciências Econômicas da UFRGS, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Desenvolvimento Rural.

Orientadora: Profa. Dra. Daniela Garcez Wives

Coorientadora: Dra. Alice Munz Fernandes

Porto Alegre

2022

MATEUS ZANELLA

**IMPACTOS DO USO DE HERBICIDAS UTILIZADOS EM CULTURA DE TRIGO
NO MEIO AMBIENTE E NA SAÚDE HUMANA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA
DA LITERATURA**

Trabalho de conclusão submetido ao Curso de Bacharelado em Desenvolvimento Rural – PLAGEDER, da Faculdade de Ciências Econômicas da UFRGS, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Desenvolvimento Rural.

Aprovado em: Porto Alegre, 12 de julho de 2022.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Orientadora: Profa. Dra. Daniela Garcez Wives - UFRGS

Profa. Dr. Etho Roberio Medeiros Nascimento - UFRGS

Prof. Me. Leonardo Bohn

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, aos professores e tutores da Universidade Federal do Rio Grande do Sul pela habilidade em transmitir conhecimentos e orientações fundamentais para o meu desenvolvimento ao longo do curso. Sou grato ao apoio e suporte prestado pelos tutores presenciais do Polo de Camargo da Universidade Aberta do Brasil. Agradeço aos colegas de turma do PLAGEDER pelos momentos difíceis e extrovertidos que contribuíram para o êxito dessa etapa.

Especialmente, agradeço a minha família, que soube suportar com paciência e carinho as ausências nos momentos de isolamento. Momentos esses necessários para a realização de trabalhos e de atividades que possibilitaram a conclusão de mais um passo importante na minha trajetória de formação profissional.

RESUMO

O trigo é uma cultura de inverno que impulsiona o desenvolvimento do agronegócio, caracterizando-se como matéria-prima responsável por aproximadamente 50% da alimentação mundial. Nesse sentido, a dessecação pré-colheita se torna necessária, haja vista a incidência de aspectos econômicos e climáticos, sobretudo considerando a implantação da cultura posterior. Contudo, para tal processo, o uso de herbicidas que antecipam a maturação do grão pode ocasionar acúmulo de resíduos químicos no produto que será ingerido. Assim, a pesquisa realizada teve como objetivo analisar de que maneira a literatura científica aborda, conjuntamente, a temática da utilização de herbicidas para a dessecação do trigo em consonância com os riscos relacionados a essa prática. Para tanto, foi realizada uma revisão sistemática da literatura científica disponível na base de dados *PubMed*, empregando como critérios de busca a existência dos seguintes termos e operadores booleanos: (*wheat*) AND (*herbicid**) AND (*environmental* OR *health* OR *welfare*). O tipo de documento analisado correspondeu a artigo, cujo período de publicação compreendeu os últimos seis anos (2016-2022). A busca resultou em um portfólio inicial composto por 52 manuscritos, dos quais foram descartados 40 por não estarem alinhados ao escopo do estudo. Logo, o portfólio final analisado totalizou 12 artigos científicos. Os resultados indicaram que os herbicidas citados como prejudiciais ao meio ambiente por contaminação de solo e água foram: glifosato, 2,4-D, sulflufenacil, ametrina e atrazina, e os prejudiciais à saúde humana por acúmulo de resíduos no grão corresponderam ao glifosinato de amônio, clopiralide e bixlozone. Também se constatou que o glifosato apresenta relação com problemas intestinais (disbiose) e o butacloro ocasiona efeitos hepatotóxicos. Dessa maneira, evidenciou-se que é iminente a existência de equilíbrio na cultura de trigo, com vistas a torná-la mais rentável para o produtor rural sem prejudicar a saúde ambiental e humana. Portanto, sugere-se o estabelecimento de Limites Máximos de Resíduos (LMRs) para todos os herbicidas utilizados no Brasil, bem como o desenvolvimento e a implementação de políticas públicas de saúde. Assim, infere-se a relevância de maximizar a fiscalização quanto ao cumprimento da legislação concernente ao uso de agrotóxicos, em paralelo a intensificação de campanhas de conscientização e de orientação aos produtores rurais.

Palavras-chave: Herbicidas. Meio Ambiente. Saúde. Trigo.

ABSTRACT

Wheat is a winter crop that drives the development of agribusiness, being characterized as a raw material responsible for approximately 50% of the world's food. In this sense, pre-harvest desiccation becomes necessary, given the incidence of economic and climatic aspects, especially considering the implementation of the later culture. However, for such a process, the use of herbicides that anticipate the maturation of the grain can cause the accumulation of chemical residues in the product that will be ingested. Thus, the research carried out aimed to analyze how the scientific literature jointly addresses the issue of the use of herbicides for the desiccation of wheat in line with the risks related to this practice. Therefore, a systematic review of the scientific literature available in the PubMed database was carried out, using the following Boolean terms and operators as search criteria: (wheat) AND (herbicid*) AND (environmental OR health OR welfare). The type of document analyzed corresponded to an article, whose publication period comprised the last six years (2016-2022). The search resulted in an initial portfolio composed of 52 manuscripts, of which 40 were discarded because they were not aligned with the scope of the study. Therefore, the final portfolio analyzed totaled 12 scientific articles. The results indicated that the herbicides cited as harmful to the environment due to soil and water contamination were: glyphosate, 2,4-D, sufflufenacil, ametryn and atrazine, and; those harmful to human health due to the accumulation of residues in the grain corresponded to ammonium glyphosinate, clopyralid and bixlozone. It was also found that glyphosate is related to intestinal problems (dysbiosis) and butachlor causes hepatotoxic effects. In this way, it became evident that the existence of balance in the wheat crop is imminent, with a view to making it more profitable for the rural producer without harming environmental and human health. Therefore, it is suggested the establishment of Maximum Residue Limits (MRLs) for all herbicides used in Brazil, as well as the development and implementation of public health policies. So, inferred the importance of maximizing inspections regarding compliance with legislation concerning the use of pesticides, in parallel with the intensification of awareness and guidance campaigns for rural producers.

Keywords: Herbicides. Environment. Health. Wheat.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Percentual da produção global de grãos por área plantada	20
Figura 2 – Calendário de plantio e colheita do trigo no Brasil.....	21
Figura 3 – Representação esquemática da cadeia produtiva do trigo no Brasil	22

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Portfólio analisado.....	33
Quadro 2 – Impactos dos herbicidas verificados na revisão sistemática da literatura e aspectos legais de uso no Brasil.....	40

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
CNA	Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CREA-RS	Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Estado do Rio Grande do Sul
EFSA	<i>European Food Safety Authority</i>
EMATER	Associação de Empreendimentos de Assistência Técnica e Extensão Rural
EPI	Equipamento de Proteção Individual
GEE	Gases de Efeito Estufa
HRAC	Comitê de Ação a Resistência aos Herbicidas
LOQ	Limite de Quantificação Validado
MAPA	Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MP-RS	Ministério Público do Estado do Rio Grande do Sul
PH	Peso do Hectolitro
RDC	Resolução da Diretoria Colegiada
RS	Rio Grande do Sul
TAC	Termo de Ajuste de Conduta
2,4-D	Ácido 2,4-Diclorofenoxiacético

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA E DEFINIÇÃO DO PROBLEMA.....	15
1.2 OBJETIVOS	16
1.2.1 Objetivo Geral	16
1.2.2 Objetivos Específicos	16
1.3 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA	17
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1 PRODUÇÃO DE TRIGO NO BRASIL.....	19
2.2 HERBICIDAS UTILIZADOS NO SISTEMA DE MANEJO DO TRIGO	23
2.3 IMPACTOS DO USO DE HERBICIDAS PARA O MEIO AMBIENTE E PARA A SAÚDE HUMANA	26
3 METODOLOGIA.....	30
3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	30
3.2 PROCEDIMENTOS DE COLETA E ANÁLISE DOS DADOS	30
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	32
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	42
REFERÊNCIAS	43

1 INTRODUÇÃO

Esta seção contempla a contextualização do tema e a consequente definição do problema de pesquisa que norteou a investigação realizada. Seu escopo pauta-se na cultura agrícola do trigo, abordando os principais objetivos, cuja justificativa discorre sobre a associação existente entre o uso de herbicidas na dessecação do cereal e seus possíveis riscos à saúde humana e ao meio ambiente, sob um enfoque sistêmico.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA E DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

O trigo faz parte de aproximadamente 50% da nutrição da população de múltiplos países, configurando-se como o segundo cereal mais produzido no mundo (WANG *et al.*, 2012). Também se caracteriza por ser a cultura de inverno de maior expressão na Região Sul do Brasil, cuja tendência indica maximização da produtividade como mecanismo para potencializar o agronegócio. Para tanto, uma das principais alternativas diz respeito à antecipação do período de colheita do trigo para a semeadura da soja em época climática considerada mais adequada, sendo, portanto, necessário realizar uma dessecação pré-colheita (MARCOS FILHO, 2004).

Sob o aspecto agrônômico, reconhece-se a existência de maturidade fisiológica vegetal, isto é, identifica-se o momento em que termina a transferência de nutrientes da planta para a semente tendo em vista o seu potencial fisiológico máximo. Esse processo está associado à dormência e posterior deterioração das sementes (LACERDA *et al.*, 2005). A prática da dessecação por meio da utilização de herbicidas antecipa o período de colheita do trigo, reduz possíveis interferências das plantas daninhas e o grão colhido não sofre alterações de qualidade (AGOSTINETTO; FLECK; MENEZES, 2001).

A antecipação da colheita do trigo oportunizada pelo uso de herbicidas dessecantes também está alinhada à preservação da qualidade fisiológica das sementes devido a rápida perda de água. Esse processo evita o dano causado nas sementes pela variação da umidade relativa do ar, que associada ao atraso da colheita, pode apresentar rachaduras e enrugamentos em tegumentos, acelerando a deterioração por patógenos e expondo o tecido embrionário ao ambiente (DALTRO *et al.*, 2010; MARCANDALLI; LAZARINI; MALASPINA, 2011).

Estudos relatam que os herbicidas mais utilizados são glyphosate, diuron, paraquate e amônio-glufosinato (VARGAS *et al.*, 2016; BOGER, 2020). Além da escolha do herbicida, outro ponto crucial é o estágio de maturação fisiológica da semente na qual o produto será

aplicado, determinando uma colheita com maior viabilidade econômica devido ao rendimento do grão (VARGAS *et al.*, 2016; FIPKE *et al.*, 2020).

Os herbicidas usados durante a dessecação na pré-colheita podem acumular nas sementes, reduzindo vigor e germinação. O nível de resíduo do produto químico no grão depende de distintos fatores, como taxa de aplicação, ação do herbicida, condições ambientais, estágio fisiológico da semente, entre outros (PERBONI *et al.*, 2018).

A literatura tem mostrado os benefícios do uso de herbicidas na dessecação do trigo, relacionando melhores sementes com maiores rendimentos econômicos para os produtores rurais do Sul do Brasil (OLIVEIRA, 2019; BOGER, 2020). No entanto, os impactos desses produtos quando associado à saúde humana são confusos, pois é necessário aumentar a produção de alimentos para suprir a necessidade da população mundial, e em contrapartida, o uso de herbicidas também se eleva (BRITO; YADA, 2019).

Tendo em vista a inevitabilidade do crescimento agrícola, o controle de ervas daninhas torna-se indispensável. Conseqüentemente, a dose de agentes químicos também se intensifica e os efeitos tóxicos para a saúde tornam-se mais evidente (HAAS; HOEHNE; KUHN, 2018). Ante a este panorama, a pesquisa realizada foi norteada pela seguinte questão-problema: De que maneira a literatura científica aborda, conjuntamente, a temática da utilização de herbicidas para a dessecação do trigo em consonância com os riscos relacionados a tal prática?

1.2 OBJETIVOS

Os objetivos estão divididos em dois grupos, conforme sua abrangência e especificidade, quais sejam: objetivo geral e objetivos específicos.

1.2.1 Objetivo Geral

A pesquisa realizada teve como objetivo geral analisar de que maneira a literatura científica aborda, conjuntamente, a temática da utilização de herbicidas para a dessecação do trigo em consonância com os riscos relacionados a tal prática.

1.2.2 Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo geral, elencaram-se os seguintes objetivos específicos:

- a) Contextualizar os riscos para a saúde humana causados pelo uso de herbicidas dessecantes de trigo;

- b) Propor termos de busca e operadores booleanos relacionados à utilização de herbicidas na colheita de trigo e seus riscos;
- c) Explanar acerca dos impactos ambientais provenientes da utilização de herbicidas dessecantes de trigo, e;
- d) Descrever os reflexos econômicos e produtivos do uso de herbicidas na colheita do trigo.

1.3 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA

Após a Segunda Guerra Mundial, a agricultura passou por um significativo processo de transformação, haja vista que a industrialização se mostrou uma alternativa eficiente para resolver o problema da fome, que assolava múltiplas nações. Os produtores rurais passaram a modernizar suas técnicas agrícolas, investindo em tecnologia de maquinários e em práticas modernas, incluindo a utilização de sementes melhoradas geneticamente em laboratórios. Ao mesmo tempo, a produção tornou-se condicionada a utilização de agentes químicos, e em doses cada vez mais elevadas (FOLGADO, 2013; LEITE, 2013).

Assim encontra-se o cenário mundial da agricultura, aumentando sua produção para combater a fome e fomentar a economia. Nesse contexto, tem-se o trigo, caracterizado como um dos primeiros cereais historicamente cultivados pelo homem e o segundo mais produzido no mundo. Segundo a Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA) juntamente com a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), na última safra de trigo (2021/2022), o Brasil cultivou 2,7 milhões de hectares do produto, produzindo mais de oito milhões de toneladas (CNA-BRASIL, 2022). E, em função do clima frio, a Região Sul do país destaca-se no cultivo desse cereal.

Segundo o Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2016), a qualidade na produção agrícola deve ser assegurada para que não ofereça risco à saúde humana. Assim, matérias-primas inadequadas para consumo requerem controle ainda durante os processos produtivos, a fim de evitar contaminação química, física ou microbiológica não permitida por lei. Todo o processo deve englobar as Boas Práticas Agrícolas que se pautam em um conjunto de fatores, tais como indicação de dose e forma de aplicação dos herbicidas, intervalo de segurança proposto, condições edafoclimáticas e pragas presentes do ambiente. Ademais, tais fatores contribuem para determinar os Limites Máximos de Resíduos (LMR), que podem ser alterados de acordo com evidências científicas que indiquem potencial risco à saúde (FERMAM; ANTUNES, 2009).

Nos últimos anos, os produtores rurais, a fim de minimizar a deterioração da qualidade dos grãos no campo e garantir a produtividade, passaram a adotar a prática de aplicação de herbicidas dessecantes na pré-colheita. Entretanto, essa prática pode resultar no transporte dos produtos químicos até os grãos ou sementes, resultando na contaminação química do produto final, onde, em sua grande maioria é destinado à produção de farinha (SEIDLER *et al.*, 2019, p. 200).

Portanto, tendo em vista que a produção do conhecimento é uma atividade coletiva (LÉVY, 2008), pesquisas que se baseiam em revisão de literatura tendem a ser úteis por oportunizar a análise do estado da arte acerca de determinada temática (BRIZOLA; FANTIN, 2016). De maneira específica, a revisão sistemática da literatura é “crucial para que possamos obter as informações desejadas em um crescente volume de resultados publicados, algumas vezes similares; outras, contraditórios” (KIRCA; YAPRAC *apud* MORANDI; CAMARGO, 2015, p. 142).

Logo, verifica-se a pertinência da investigação realizada, pois contempla uma temática emergente e dotada de complexidade, que cada vez mais adquire relevância e torna-se polêmica. Evidenciam-se ainda os paradoxos enfrentados pela produção do trigo e seu impacto no desenvolvimento rural, sendo que, de um lado, existem aspectos econômicos e produtivos associados à utilização de herbicidas dessecantes e de outro, tem-se seu potencial de riscos e danos à saúde e ao meio ambiente. Sendo assim, analisar a maneira como a literatura científica aborda tal problemática pode fornecer *insights* e auxiliar no desenvolvimento de estratégias e políticas capazes de equalizar tal situação.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

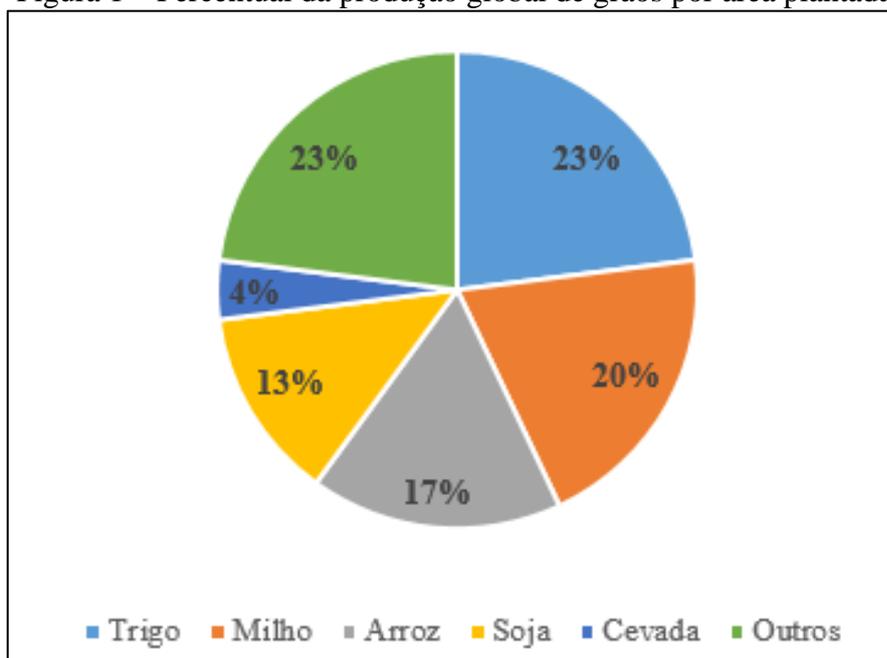
A revisão bibliográfica que forneceu subsídios para a pesquisa realizada está estruturada em torno de duas principais temáticas, quais sejam: herbicidas e riscos concernentes a saúde e ao ambiente. Ademais, tem-se uma síntese da origem e evolução da produção de trigo no Brasil, bem como os principais herbicidas utilizados para o manejo da cultura com ênfase no período que antecede a colheita e os riscos à saúde relacionados atal prática.

2.1 PRODUÇÃO DE TRIGO NO BRASIL

Atualmente, a produção de trigo predomina na Região Sul do Brasil, destacando-se o Estado do Paraná como maior produtor, seguido pelo Rio Grande do Sul. De maneira conjunta, ambos os Estados respondem por cerca de 90% da produção nacional do cereal. Especificamente, no RS a cultura do trigo possui distintos marcos, que fomentaram o desenvolvimento da agricultura. A partir da década de 1990, quando o governo deixou de intervir diretamente na comercialização, os produtores passaram a enfrentar desafios concernentes à concorrência internacional, cujo mecanismo de preço impacta na lucratividade (CONAB, 2017).

O Brasil configura-se como um dos países de maior produção e exportação de grãos, e mesmo assim, verifica-se a necessidade de importação de determinadas *commodities* para suprir o mercado interno. O trigo é um exemplo, pois a quantidade produzida é inferior a demandada. Ademais, evidencia-se que a maior parte da produção nacional (87%) se encontra na Região Sul, cuja expansão para as Regiões Sudeste e Centro-Oeste foi possível somente por causa dos avanços tecnológicos (MAIS SOJA, 2022). Em um contexto global, a Figura 1 apresenta a frequência relativa dos grãos com maior área plantada no mundo.

Figura 1 – Percentual da produção global de grãos por área plantada



Fonte: Adaptado de Mais Soja (2022).

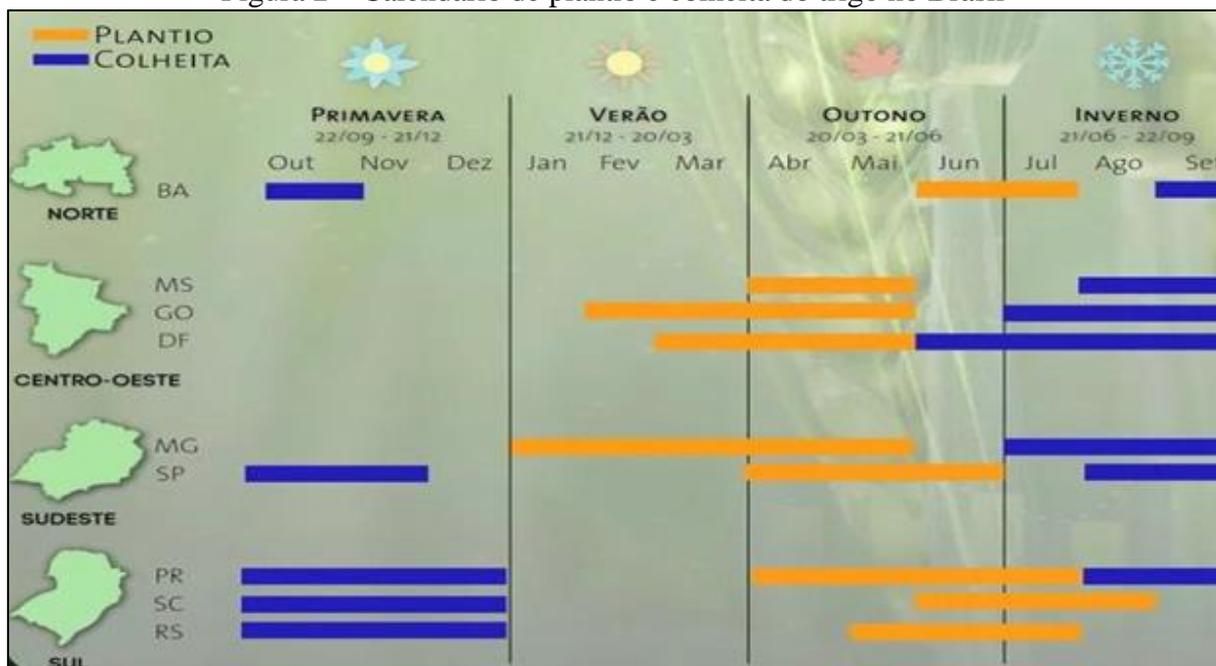
Mundialmente, a cultura de trigo emprega 23% do total de hectares cultivados, superando as plantações de milho, arroz e soja. Segundo um mapeamento realizado em 2017 pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) e publicado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2017), o Brasil possui apenas 7,6% de seu território disponível para plantio, o que implica na proteção e preservação de 66% de sua mata nativa. Por outro lado, a Índia dedica 60,5% de seu território para cultivo agrícola, seguida pela Dinamarca que cultiva 76,8%. Já a Alemanha emprega 56,9% de sua área para plantações, enquanto que nos Estados Unidos e na China essa proporção corresponde a 18,3% e 7,7%, respectivamente.

Conquanto, apesar de explorar uma pequena parcela de seu território por meio da agricultura, o Brasil ocupa a terceira posição mundial no *ranking* de produção de alimentos. No plantio de trigo, abrange zonas temperadas subtropicais e tropicais, que se localizam desde o Extremo Sul do país até o Paralelo 11 (EMBRAPA, 2009). Com base na heterogeneidade dos regimes hídricos e térmicos, essa cultura requer adaptações em Regiões úmidas (como é o caso da Região Sul), com temperaturas elevadas (como ocorre em São Paulo e em Mato Grosso do Sul) e quentes e secas (como em Goiás, Minas Gerias e Bahia) – que geralmente implicam na necessidade de irrigação constante (MAIS SOJA, 2022).

De acordo com as características edafoclimáticas brasileiras, o calendário de plantio e de colheita do trigo sofre alteração independente do fato de ser uma cultura

predominantemente de inverno. A Figura 2 exemplifica a diferenciação das estações do ano de melhor adaptação do cereal em consonância com a região agrícola definida pela CONAB. Destaca-se que, por ser um país com extensa área territorial, enquanto o trigo é colhido no Centro-Oeste, está sendo plantado na Região Sul. Essa variação climática corresponde a um dos principais impulsionadores de sua dessecação pré-colheita (CONAB, 2020).

Figura 2 – Calendário de plantio e colheita do trigo no Brasil

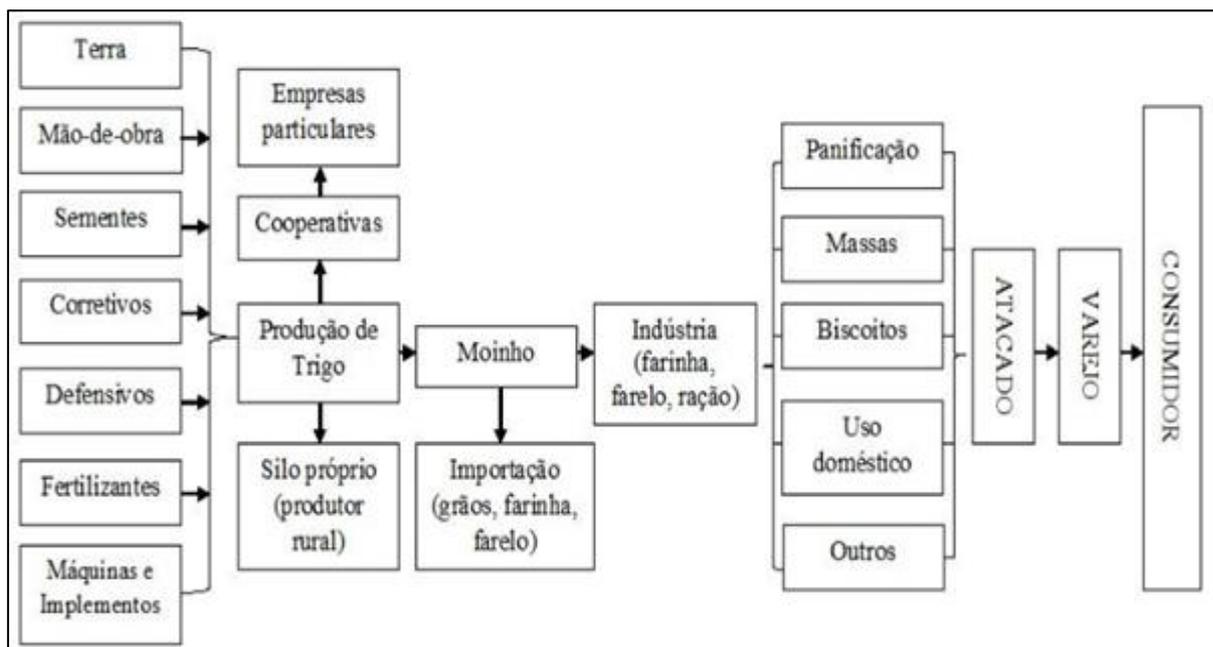


Fonte: Mais Soja (2022).

A última safra ocorrida em 2020/21 representou uma produção de 6.183 toneladas de trigo, sendo que o Brasil exportou 700 e importou 6.800 toneladas do cereal. Esse panorama demonstra que, apesar do quantitativo da produção nacional, o país ainda não é autossuficiente no abastecimento de trigo, sendo necessárias importações – sobretudo provenientes da Argentina – para suprir a demanda interna (CONAB, 2020).

Segundo a Associação Brasileira da Indústria do Trigo (ABTRIGO, 2011), 75% da moagem do cereal destinam-se à produção de farinha, ao passo que o restante origina o farelo, empregado como alimentação animal. A Figura 3 expõe a representação esquemática da cadeia produtiva do trigo, apresentando o caminho que o produto percorre desde a fabricação de insumos necessários para o plantio, até a comercialização de produtos industrializados junto ao consumidor final.

Figura 3 – Representação esquemática da cadeia produtiva do trigo no Brasil



Fonte: Seidler *et al.* (2019).

O mercado do trigo é avaliado por diversas características, tais como, peso do hectolitro (PH), percentagem de proteínas no grão e de mistura de grãos danificados, força geral de glúten, teor e quantidade de micotoxinas e de resíduos de agrotóxicos (PEREIRA, 2006). Um dos principais fatores de comercialização corresponde ao PH, que representa a massa de 100 litros de trigo, expressa em kg hl⁻¹. Também se trata de um indicativo de qualidade do grão, que sofre influência de sua uniformidade, forma, densidade e tamanho, bem como pelo teor de matérias estranhas e grãos quebrados na amostra (EMBRAPA, 2009).

Se o PH for igual ou superior a 78 Kg hct⁻¹, o grão de trigo é considerado como adequado, cuja comercialização contribui para a maximização da rentabilidade por parte do produtor rural (GUTKOSKI *et al.*, 2007). Outro parâmetro consiste no teor de proteínas, sendo aceitáveis valores compreendidos entre os limites 9,5% e 15%. Os teores que se mostram inferiores ou superiores em relação a tal panorama, não são indicados (SCHEUER *et al.*, 2011).

Além disso, as condições climáticas interferem no peso e na qualidade do produto. Na Região Sul do Brasil – onde predomina o plantio de trigo – no processo de colheita, geralmente, o índice de precipitação pluviométrica é significativo, o que pode acarretar interferências na germinação do grão em consonância com a minimização do seu valor comercial. A antecipação da colheita pode ser um método seguro para evitar tais danos, bem como acelerar a perda de umidade, uniformizando o estágio de maturação e deixando as

sementes menos expostas a patógenos e externalidades (PIRES *et al.*, 2012; PEREIRA *et al.*, 2015).

O processo de dessecação pré-colheita do trigo permite a antecipação do período de colheita, o que contribui para a mitigação e/ou redução dos possíveis danos ao cereal e à manutenção econômico-financeira do produtor. Outro aspecto pertinente diz respeito à utilização de herbicidas para manejar e controlar as plantas (GRIFFIN *et al.*, 2010). A literatura apresenta inúmeros aspectos tanto favoráveis quanto desfavoráveis a esse processo, principalmente acerca da relação existente entre a produção de alimentos, o meio ambiente, a saúde humana e a economia.

Todavia, a maximização da produção de trigo no Brasil foi acompanhada pela intensificação do uso de agrotóxicos (PIZZI, 2017), sobretudo de herbicidas que “tem possibilitado o controle eficiente das plantas daninhas nas principais culturas de importância agrônômica no Brasil, especialmente nas últimas três décadas” (HARTWIG *et al.*, p. 362, 2008). Assim, pressupõe-se que toda a produção de trigo derivada do sistema produtivo convencional contém resíduos por agrotóxicos, em menor ou maior escala, dependendo da quantidade de aplicações de herbicidas no desenvolvimento da planta, e se há ou não a dessecação na pré-colheita – o que pode ocasionar a contaminação química do alimento (SEIDLER *et al.*, 2019).

2.2 HERBICIDAS UTILIZADOS NO SISTEMA DE MANEJO DO TRIGO

O manejo em um sistema agrícola se torna necessário desde a fase de emergência da planta até a colheita, a fim de oportunizar o controle de ervas daninhas, fungos e insetos. Inseridos na lógica produtiva da modernização agrícola, tais processos geralmente ocorrem por meio de agentes químicos (PIZZI, 2017), sendo que a quantidade de herbicidas e fungicidas vem aumentando gradativamente (HARTWIG *et al.*, 2008), o que pode ser justificado pela incidência crescente de plantas invasoras e fungos nas monoculturas.

Como consequência, para assegurar uma produtividade satisfatória torna-se fundamental conhecer os herbicidas que podem ser utilizados de forma segura. Dentre os produtos empregados no trigo destaca-se o glifosato, um herbicida sistêmico utilizado em pré-semeadura para manejo da cobertura vegetal anual e perene, no sistema de semeadura direta. Já o imazamox controla um amplo espectro de plantas daninhas gramíneas e de folha larga em pós-emergência com baixas taxas de aplicação. No Brasil, recentemente, foram registrados cultivares de trigo CL que apresentaram tolerância ao imazamox para aplicações em pós-

emergência de plantas daninhas infestantes no trigo (KOGER *et al.*, 2005).

As plantas daninhas ou invasoras que apresentam maior incidência no cultivo de trigo correspondem ao nabo e ao azevém, cujo controle é realizado por meio de herbicidas após sua emergência. Um estudo realizado em três cidades do Rio Grande do Sul demonstrou repetições de doses e associações entre os herbicidas 2,4-D, metsulfuron-methyl, iodosulfuron, piroxsulam e saflufenacil aplicados no perfilhamento do trigo. Os resultados indicaram que o aumento na dosagem de metsulfuron-methyl e a dose de registro de piroxsulam causaram redução significativa no rendimento do grão de trigo na média dos experimentos. Também se constatou que o peso do hectolitro dos grãos de trigo não foi influenciado pelos herbicidas aplicados (PIASECKI *et al.*, 2017).

A presença de plantas daninhas no trigo reduz a produtividade agrícola em 82,5%. Essa minimização preocupa o produtor rural, sobretudo quando se refere ao custo dos herbicidas utilizados para efetivar tal controle. Uma alternativa frequentemente empregada para diminuir o uso desses agentes químicos sem prejudicar a produtividade corresponde à produção de palha na lavoura. Algumas culturas de outono, como é o caso do milheto, do sorgo, do trigo-mourisco e do nabo-forrageiro geram grande quantidade de palha, o que afeta negativamente os primeiros fluxos de emergência das plantas daninhas. No entanto, é importante realizar sua dessecação antes da formação de sementes, para que no ano seguinte não sejam competidoras com a cultura do trigo (RIZZARDI, 2022).

Essa alternativa de controle de ervas invasoras pode ser útil na redução do uso de herbicidas na cultura de trigo, pois seus benefícios referem-se a menores custos ao produtor, a minimização da contaminação ambiental e a menor incidência de resíduos químicos nos alimentos. Ademais, a dessecação pré-colheita do trigo também se configura como um processo que merece atenção, a fim de evitar o acúmulo de resíduos nos grãos do cereal. Desse modo, a escolha do herbicida, a época de aplicação e a quantidade aplicada devem ser respeitadas para não gerar danos à saúde humana e ao meio ambiente (TAVARES *et al.*, 2018).

Bordin (2014) discorre sobre a análise de resíduos de pesticidas em farinha de trigo integral usando cromatografia líquida acoplada à espectrometria de massas. Tal método corresponde a uma extração à base de acetonitrila, seguida de partição líquido-líquido com adição de sulfato de magnésio (MgSO₄) e/ou cloreto de sódio (NaCl). Por fim, a última etapa detalha a purificação com extração em fase sólida dispersiva. Dessa forma, o autor afirma que os Limites Máximos de Resíduos (LMRs) são definidos como a concentração máxima de resíduos de pesticidas presentes nos alimentos, e que pode ser consumida pelo ser humano ao

longo da vida sem prejuízo à saúde. Para Fermam e Antunes, (2009) o LMR tende a sofrer alterações baseadas em evidências científicas que indiquem os possíveis riscos à saúde.

Todavia, no Brasil não existem valores de LMRs estabelecidos para alimentos processados derivados do trigo – como farinha, por exemplo – limitando-se ao grão. No mundo, apenas o *Codex Alimentarius* e a União Europeia possuem tais parâmetros para alimentos processados (BORDIN, 2014). Conquanto, em relação à escala de produção de trigo, tem-se que:

O trigo é considerado o cereal mais importante para a alimentação humana, produzido nas regiões de clima temperado, sua produção está em torno de 18% em relação à produção mundial de cereais. Em segundo lugar aparece o arroz com 13% da produção. Após vem o milho com 12% em relação à produção de grãos (DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DOS ESTADOS UNIDOS, 2014 *apud* BORDIN, 2014, p. 19).

De acordo com Vargas *et al.* (2016), a aplicação de herbicidas no trigo enquanto a planta está metabolicamente ativa pode resultar no transporte de agentes químicos até os grãos, provocando a contaminação química do cereal colhido. Os autores defendem que existe a necessidade de uma ampla avaliação e, posteriormente, de uma determinação legal acerca da quantificação de resíduos químicos toleráveis nos grãos, assim como do registro de produtos para a finalidade de dessecação pré-colheita com vistas a viabilizar um produto final mais seguro para a saúde humana.

Em pesquisa experimental realizada na Região Norte do RS, entre os anos de 2012 e 2014, Vargas *et al.* (2016) buscaram verificar a incidência de resíduos de herbicidas no trigo. Para tanto, empregaram múltiplos tratamentos com os seguintes herbicidas aplicados em duas doses (1,5L e 2,0 L ha⁻¹), mais testemunha sem aplicação: glifosato; paraquate; paraquate + diurom, e; amônio-glufosinato. A aplicação química sobre a planta ocorreu em três momentos diferentes, designados como início da maturação fisiológica, maturação fisiológica e após a maturação fisiológica. A utilização de amônio-glufosinato posterior a maturação fisiológica correspondeu ao único tratamento cuja análise do grão não detectou resíduo químico do herbicida, indicando ser o momento propício para a aplicação, embora com pequeno potencial para antecipação da colheita. Para o glifosato, os níveis de resíduo foram encontrados antes e após a maturação fisiológica, variando entre 0,04 a 0,09 mg/kg (VARGAS *et al.*, 2016).

Não obstante, Tavares (2015) descreve sobre competição de azevém e nabo, manejo de nitrogênio e dessecação pré-colheita na produção de sementes de trigo. Nesse sentido, destaca que a implantação da técnica na “adoção de práticas de manejo que visem posicionar a cultura em situação competitiva vantajosa em relação às plantas daninhas, constitui-se em

alternativa viável para reduzir ou até eliminar a utilização de herbicidas” (TOLLENAAR *et al.*, 1994 *apud* TAVARES, 2015).

Ainda não existe produto registrado para a dessecação em pré-colheita de trigo, por isso este trabalho e tantos outros que abordem este assunto são muito importantes, pois percebe-se que os desseccantes podem auxiliar a colheita do trigo, antecipando-a e possibilitando a manutenção da qualidade fisiológica e sanitária das sementes, bem como auxiliar na escolha dos produtos, suas doses, momento de aplicação, além de verificar o efeito das cultivares sob aplicação de desseccante em pré-colheita (CECHINEL, 2014, p. 99).

Nos últimos anos, constata-se a maximização de ocorrência de aplicações de herbicidas para dessecar as lavouras de trigo antes da colheita, a fim de uniformizar a maturação do cereal e adiantar o controle de plantas daninhas para a semeadura da soja. Contudo, a Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural (EMATER) alerta acerca da importância de utilizar somente herbicidas licenciados, de modo que a dessecação realizada com produtos não registrados é ilegal e os produtores poderão ser responsabilizados civil e criminalmente (EMATER, 2021).

No Brasil, existem mais de 780 herbicidas registrados, dentre estes, 79% são produtos comerciais com apenas um princípio ativo, enquanto 21% são misturas de dois ou três agentes químicos. Os herbicidas correspondem a aproximadamente 60% dos pesticidas utilizados no território nacional e são classificados pelo Comitê de Ação à Resistência aos Herbicidas (HRAC) em conformidade com as seguintes características: modo de ação, sítio de ação, família química e ingrediente ativo (MAPA, 2022).

2.3 IMPACTOS DO USO DE HERBICIDAS PARA O MEIO AMBIENTE E PARA A SAÚDE HUMANA

Utilizados para controlar plantas indesejáveis, os herbicidas com seu baixo custo e sua eficiência são os agrotóxicos empregados em maior quantidade na agricultura. No solo, a sua molécula pode atingir os lençóis freáticos causando contaminação através dos processos de sorção ou dessorção. Essa contaminação do solo pode ser superior a um ano e, em casos mais extremos, levar décadas para a completa degradação, dependendo da molécula e das condições climáticas (SEGATTO *et al.*, 2018; MACHADO *et al.*, 2021).

Tais compostos podem ser encontrados na água, por meio da evaporação para a atmosfera, do escoamento superficial ou ainda pela lixiviação – que ocorre pela contaminação das águas subterrâneas mediante o transporte de agrotóxicos por rios (MARTINI *et al.*, 2012).

A contaminação ambiental gerada pelos agrotóxicos ocasiona impactos diretos sobre a saúde humana, assim como as exposições agudas. Dependendo da via, da velocidade e da maneira de absorção que o produto químico percorre no organismo humano, tem-se a possibilidade de promoção de danos permanentes, o que está relacionado também com aspectos etários e de condições de saúde prévia dos indivíduos (BARBOSA, 2014; MELLO *et al.*, 2019).

Os pesticidas são potencialmente cancerígenos e podem deixar resíduos por aproximadamente duas décadas no solo, tanto que se caracterizam como Agentes Químicos Organoclorados. Quando esses resíduos químicos se acumulam no organismo humano aumenta-se o risco de incidência de cânceres, problemas fetais, doenças hereditárias e disfunções no sistema nervoso (CARNEIRO *et al.*, 2015).

Um estudo realizado por Sutorillo *et al.* (2019) teve como objetivo avaliar em *Caenorhabditis elegans* (espécie de nematódeo), o potencial nefrotóxico dos seguintes produtos e suas respectivas doses sobre a atividade da enzima acetilcolinesterase (neurotransmissor do sistema nervoso central e biomarcador de doenças neurodegenerativas): glifosato (3 L/ha); glufosinato de amônio (2 L/ha); 2,4-D (1 L/ha), e; haloxifop (0,5 L/ha). Os resultados indicaram que os efeitos danosos desses agentes químicos no sistema nervoso, afetando as enzimas responsáveis pela cognição, sentido e aprendizado.

Em adição, tem-se que o glifosato corresponde a um produto com propriedades toxicológicas que afetam o sistema reprodutivo. Efeitos deletérios foram observados em fêmeas e machos ruminantes que ingeriram doses variadas do herbicida. Ademais, tanto estudos *in vivo* quanto *in vitro* indicam efeitos de desregulação endócrina, danos ao DNA, alterações nos espermatozóides e estresse oxidativo, concluindo que o glifosato impacta negativamente na saúde reprodutiva do ser humano (ARL, 2021).

Não obstante, na França os herbicidas sulfonilureias e imidazolinonas são relacionados com riscos ambientais e toxicidade para animais e humanos que consumiram produtos derivados de culturas que receberam aplicações desses agentes químicos. Para os animais, principalmente invertebrados, anfíbios e peixes – os quais não possuem a enzima acetilcolinesterase – esses herbicidas são altamente tóxicos. Já em humanos, os estudos epidemiológicos mostraram que o uso e o manuseio dessas toxinas implicam na maximização do risco de incidência de câncer de cólon e bexiga, bem como de abortos espontâneos. Também se destaca que em solos agrícolas, tais herbicidas apresentam persistência de vários meses e as amostras de água mostram concentrações de resíduos químicos superiores ao valor limite na água potável (BOURDINEAUD, 2022).

O uso excessivo desses produtos químicos, a falta de cuidados necessários e a não

utilização de Equipamento de Proteção Individual (EPI) durante a aplicação e manuseio por parte do produtor rural, contribuem para a degradação ambiental e para o aumento no número de intoxicações ocupacionais, incluindo casos de envenenamento humano (CARGNIN *et al.*, 2017). Segundo dados do Centro de Informações Toxicológicas (CIT) do RS, no ano de 2020, 265 pessoas foram expostas a herbicidas, sendo que deste total, 84 casos indicam exposição intencional. Ainda, os herbicidas com mais exposição foram o glifosato, o paraquat e o 2,4-D (CIT-RS, 2020).

Existem fatores que contribuem decisivamente para o aumento intensivo no uso de agrotóxicos empregados na produção de alimentos, na medida em que muitos agricultores não conhecem os efeitos nocivos dos produtos que aplicam, quais sejam: deficiência no acompanhamento e nas orientações técnicas; falta de utilização ou uso inadequado de EPI; falta de observação do período de carência do prazo que o princípio ativo permanece agindo sobre a planta; comercialização livre e descontrolada de uma gama de agrotóxicos, e; efeito cumulativo dos princípios ativos dos agentes químicos (ANVISA, 2018).

O efeito negativo do uso de agrotóxicos de maneira geral, não está relacionado apenas aos produtores rurais ou aos indivíduos que consomem os produtos que tenham sido expostos a agentes químicos. As externalidades e consequências também são encontradas no meio ambiente, gerando preocupações em função da possibilidade de contaminação do sistema hídrico e do solo, bem como a contribuição para o acúmulo de gases de efeito estufa em função da evaporação de agentes químicos (SOARES *et al.*, 2016).

Uma pesquisa realizada no município de Encantado/RS buscou analisar a contaminação por herbicidas na água do Rio Taquari. As amostras foram coletadas durante o período de verão e inverno, indicando a incidência dos seguintes princípios ativos: atrazina, imidacloprido, clorpirifos e carbendazim – todos com quantidade de resíduos abaixo do limite máximo de segurança permitido pela legislação nacional vigente. Mesmo assim, não é possível assegurar baixos riscos para a saúde humana e ambiental, pois se devem considerar efeitos de curto e de longo prazo das constantes exposições (KRONBAUER *et al.*, 2021).

Tendo em vista os fatores de riscos mencionados, por iniciativa do Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Estado do Rio Grande do Sul (CREA-RS) e com a finalidade de inspecionar a presença de resíduos de agrotóxicos de uso não autorizado, ou ainda com limites superior aqueles estabelecidos pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) e/ou proibidos no Brasil, no cultivo de hortigranjeiros no Rio Grande do Sul, por iniciativa do Ministério Público (MP-RS, 2015) foi firmado, em 2012, um Termo de Ajustamento de Conduta (TAC) (CREA-RS, 2016). A partir disso, uma pesquisa foi realizada

em alimentos comercializados e, devido à análise de vinte laudos de inconformidades, o CREA-RS realizou visitas aos produtores e estabelecimentos comerciais responsáveis com o objetivo de diagnosticar a existência de profissional e de receituário agrônomo dos agrotóxicos utilizados.

No Rio Grande do Sul, na safra 2009/2010, foram utilizados 85 milhões de litros de defensivos agrícolas, o que posiciona o Estado como o terceiro maior consumidor nacional desses produtos químicos. A média brasileira de consumo nesse mesmo período correspondeu a 4,5 litros/habitante, enquanto a média estadual totalizou 8,3 litros/habitante. Logo, evidencia-se que os alimentos produzidos no Rio Grande do Sul recebem maior número de aplicações ou dosagens superiores de defensivos agrícolas. Por consequência, há tendência de existência de maior concentração de resíduos tóxicos (CREA-RS, 2016).

3 METODOLOGIA

Nesta seção apresentam-se os procedimentos relacionados à realização da pesquisa. Para tanto, expõe-se a classificação da investigação realizada, o delineamento e seleção das bases de dados, termos de buscas e operadores booleanos, bem como a maneira como os resultados obtidos foram analisados.

3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa realizada caracteriza-se como qualitativa no que diz respeito à abordagem do problema. Segundo Silveira e Córdova (2009), esse tipo de investigação não se preocupa com a quantificação, mas com o aprofundamento da compreensão de um fenômeno ou objeto, evidenciando sua complexidade (RICHARDSON, 1999). Logo, trata-se de uma metodologia de investigação que “atravessa disciplinas, campos e temas” (DENSYN; LINCOLN, 2006, p. 16).

Quanto à finalidade, trata-se de uma pesquisa exploratória, cujo objetivo consiste em proporcionar maior familiaridade com o problema e contribuir com a melhoria da compreensão da temática em questão. A pesquisa exploratória também se caracteriza por oportunizar a identificação de conceitos-chave e investigar aspectos relacionados ao comportamento humano (MATTAR, 1994; MALHOTRA; ROCHA; LAUDISIO, 2005).

Para a realização da pesquisa, empregou-se uma revisão sistemática da literatura, na qual se buscaram informações a respeito do problema relacionado ao uso de herbicidas na dessecação de trigo e sua associação com riscos ambientais e à saúde humana, de maneira conjunta. De acordo com Van Aken (2001), a revisão sistemática da literatura permite desenvolver premissas fundamentadas a partir de determinado aglomerado de estudos, e, dessa forma, contribuir para o avanço do conhecimento científico (GINSBERG; VENKATRAMAN, 1985).

3.2 PROCEDIMENTOS DE COLETA E ANÁLISE DOS DADOS

A revisão sistemática da literatura seguiu a estruturação proposta por Kitchenham e Charters (2007), composta por três etapas, quais sejam: (i) Planejamento, na qual se define o objetivo da revisão, bem como sua questão norteadora e o protocolo para a obtenção do portfólio de estudos a ser analisado; (ii) Execução, que caracteriza-se pela seleção e avaliação dos manuscritos para posterior extração dos dados, e; (iii) Relatório, que corresponde a

apresentação de respostas à questão norteadora da revisão.

Ante esse delineamento, a revisão sistemática buscou atender ao objetivo geral da pesquisa, de modo que sua questão norteadora central consistiu na seguinte interrogativa: De que maneira a literatura científica aborda, conjuntamente, a temática da utilização de herbicidas para a dessecação do trigo em consonância com os riscos relacionados a tal prática? Para atender a esse questionamento de modo a viabilizar a operacionalização da pesquisa, definiram-se três questões para a análise dirigida dos manuscritos, quais sejam: (i) quais os impactos do uso de herbicidas dessecantes de trigo na saúde humana? (ii) quais os impactos do uso de herbicidas dessecantes de trigo no meio ambiente? (iii) quais os impactos econômicos ou produtivos do uso de herbicidas dessecantes de trigo?

Para responder a esse conjunto de indagações, no protocolo de revisão estabeleceu-se que a literatura científica analisada deveria estar disponível na base de dados *PubMed*, disponibilizada pela *National Library of Medicine* por meio do *National Center for Biotechnology Information*, que compreende mais de 33 milhões de documentos da literatura da área da saúde.

Como critérios de busca definiram-se a existência dos seguintes termos e operadores booleanos no título e/ou resumo: (*wheat*) AND (*herbicide**) AND (*environmental* OR *health* OR *welfare*) em artigos publicados nos últimos seis anos (2016-2022). Ressalta-se que a pesquisa foi realizada com os termos em inglês devido à hegemonia desse idioma quanto a sua utilização para a universalização da pesquisa científica, tornando-se a “língua franca da ciência” (ÁLVARES, 2016, p. 133). O período de busca limitou-se a data de 11 de abril de 2022, resultando em um portfólio inicial composto por 52 documentos.

Após a leitura do título e resumo dos manuscritos, foram excluídos da pesquisa aqueles cujo escopo não estava alinhado com a investigação. Assim, o portfólio final analisado foi composto por 12 artigos científicos. Para a organização do portfólio utilizaram-se planilhas eletrônicas e fichas de leitura minuciosa. No tocante a análise dos dados, os resultados concernentes a terceira etapa da revisão (KITCHENHAM; CHARTERS, 2007) foram confrontados com dados provenientes de agências e órgãos oficiais, bem como com achados provenientes de outras investigações científicas e relatórios técnicos afins.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com base na metodologia empregada, foram selecionados 12 artigos científicos que compuseram o portfólio dessa revisão sistemática de literatura. O Quadro 1 apresenta esse conjunto de manuscritos, evidenciando suas características pertinentes.

Autor (es) e Ano	Título	Periódico	Objetivo e Resultados
Gaba <i>et al.</i> (2016)	<i>Herbicides do not ensure for higher wheat yield, but eliminate rare plant species</i>	<i>Scientific Reports</i>	Teve como objetivo analisar a relação entre ervas daninhas, herbicidas e rendimentos de trigo de inverno usando dados de 150 campos de trigo de inverno no oeste da França. Os herbicidas mostraram-se mais eficazes no controle de espécies raras de plantas do que espécies abundantes de ervas daninhas, mesmo assim, sugere-se que a redução do uso de herbicidas em até 50% poderia manter a produção agrícola. A segurança alimentar e a conservação da biodiversidade podem ser alcançadas simultaneamente na agricultura reduzindo o uso de herbicidas. 33
Zhang <i>et al.</i> (2016)	<i>Estimations of application dosage and greenhouse gas emission of chemical pesticides in staple crops in China</i>	<i>The Journal of Applied Ecology</i>	Estudo realizado em culturas de trigo, arroz e milho, no ano de 2012 na China, mostrou que pelo menos 50 tipos de herbicidas estavam sendo usados, trazendo sérios riscos à segurança alimentar e problemas ambientais. Representaram 59.3% de gases de efeitos estufa (GEE) quando somado a emissão total de agrotóxicos (1,5 TgCe). Portanto, a redução do uso de herbicidas mostrou-se importante para a segurança alimentar e ambiental, bem como à mitigação de GEE no setor agrícola da China.
Liu <i>et al.</i> (2017)	<i>Comprehensive analysis of degradation and accumulation of ametryn in soils and in wheat, maize, ryegrass and alfalfa plants</i>	<i>Ecotoxicology and Environmental Safety</i>	Neste estudo, o acúmulo de herbicida Ametryn no solo, utilizado nas culturas de trigo, milho, aveia e alfafa foi avaliado. Em destaque, a cultura de aveia mostrou ter uma capacidade relativamente forte de remover ametryn do solo contaminado e de seus tecidos vegetais, contribuindo para a sua degradação.
Schlatter <i>et al.</i> (2017)	<i>Impacts of repeated glyphosate use on wheat-associated bacteria are small and depend on glyphosate use history</i>	<i>Applied and Environmental Microbiology</i>	O glifosato é o herbicida mais utilizado em todo o mundo, principalmente para combater plantas daninhas em plantio direto. A grande preocupação deste estudo foi a contaminação a longo prazo em comunidades microbianas do solo. O glifosato teve impactos mínimos no solo e nas bactérias da rizosfera do trigo, sendo sutis e menores do que os fatores de localização e sistema de cultivo.
Brauns <i>et al.</i> (2018)	<i>Pesticide use in the wheat-maize double cropping systems of the North China Plain: Assessment, field study, and implications</i>	<i>Science of the Total Environment</i>	Trata-se de um estudo que avaliou a contaminação principalmente de 2,4-D e atrazina no solo e na água em culturas de trigo no ano de 2013 na China. Esses herbicidas foram encontrados no solo e na água, as maiores concentrações de 2,4-D e atrazina foram encontradas na água de rio, variando até 3,00 e 0,96µg/L, respectivamente. Portanto é necessário monitoramento do uso agrícola bem como na contaminação do meio ambiente na China.
Muminov <i>et al.</i> (2018)	<i>Comparisons of weed community, soil health and economic performance between wheat-maize and garlic-soybean rotation systems under different weed managements</i>	<i>PeerJ</i>	Este estudo comparou a rotatividade de solo entre trigo, milho, alho e soja para manejo de ervas daninhas. Foram realizados testes com e sem herbicidas em todas as culturas. Como resultado, o controle sem herbicidas resultou em aumento de matéria orgânica no solo. Economicamente, o lucro líquido foi de 69% maior para a cultura de alho-soja do que para trigo-milho, em uma produção orgânica.
Barnett e Gibson (2020)	<i>Separating the empirical wheat from the pseudoscientific chaff: A critical review of the literature surrounding glyphosate, dysbiosis and wheat-sensitivity</i>	<i>Frontiers in Microbiology</i>	O herbicida glifosato é aplicado em culturas de trigo antes da colheita para estimular o amadurecimento, resultando em maiores resíduos em produtos comerciais de trigo. Foram avaliados os efeitos desses resíduos na microbiota intestinal e concluído que estes podem causar disbiose, influenciando diretamente na saúde humana.

Gauthier e Mabury (2020)	<i>The environmental degradation and distribution of saflufenacil, a fluorinated protoporphyrinogen ix oxidase-inhibiting herbicide, on a Canadian winter wheat field</i>	<i>Environmental Toxicology and Chemistry</i>	Foi avaliado o uso de um herbicida chamado suflufenacil, aplicado na quantidade de 63g/hectare em uma safra de trigo. Esse metabólito foi encontrado em uma concentração de 1/10 daquela aplicada no campo, sugerindo que a maioria do saflufenacil havia sido transportada pelo solo ou absorvida pela cultura do trigo de inverno.
Magnoli et al. (2020)	<i>Herbicides based on 2,4-D: its behavior in agricultural environments and microbial biodegradation aspects</i>	<i>Environmental Science and Pollution Research</i>	O uso indiscriminado do herbicida ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D) em culturas de trigo pode produzir inúmeros danos ao meio ambiente. O uso de microrganismos e um processo de remediação vantajoso para evitar a poluição do meio ambiente, bem como para saúde da população.
Anastassiadou et al. (2021)	<i>Modification of the existing maximum residue levels for clopyralid in various commodities</i>	<i>European Food Safety Authority Journal</i>	Trata-se de um estudo que avalia e define valores de LMR para trigo de clopiralide. Um método analítico adequado para aplicação está disponível para controlar os resíduos de clopiralide nas commodities vegetais em consideração no limite de quantificação validado (LOQ) de 0,01 mg/kg. A EFSA (<i>European Food Safety Authority</i>) concluiu que é improvável que a ingestão de curto e longo prazo de resíduos resultantes do uso de clopiralide de acordo com as práticas agrícolas relatadas represente um risco para a saúde do consumidor.
Li et al. (2021)	<i>Simultaneous determination of the herbicide bixlozone and its metabolites in plant and animal samples by liquid chromatography-tandem mass spectrometry</i>	<i>Journal of Separation Science</i>	Estudo com base em cromatografia líquida de ultra-alta eficiência-espectrometria de massas em tandem, um método para detectar o herbicida bixlozone e seus metabolitos em alimentos como a farinha de trigo. Esse método mostrou-se seguro, confiável e de baixo custo, além de ser adequado para detectar quatro compostos em cereais reais.
Yang et al. (2021)	<i>Exposure to the herbicide butachlor activates hepatic stress signals and disturbs lipid metabolism in mice</i>	<i>Chemosphere</i>	Butacloro é um herbicida sistêmico aplicado em trigo, arroz e feijão, sendo frequentemente detectado em águas subterrâneas, superficiais e no solo. Foram investigados os potenciais riscos adversos à saúde em camundongos. Os resultados indicaram que este herbicida induz efeitos hepatotóxicos através da interrupção do metabolismo lipídico.

Quadro 1 – Portfólio analisado

Fonte: Resultados da pesquisa (2022).

A partir desse portfólio, delineou-se a discussão dos resultados contrapondo as abordagens proeminentes nos manuscritos analisados com a forma a partir da qual a temática acerca de herbicidas dessecantes no trigo e seus riscos, conjuntamente, vêm se manifestando no panorama brasileiro. Assim, tem-se que a agricultura se moderniza, de modo que o uso de tecnologia no meio rural oportuniza avanços econômicos significativos para o país. Como consequência, há a maximização da produtividade, que também eleva a renda do produtor e fomenta as exportações – tanto que se estima que entre agosto de 2021 e março de 2022 serão exportadas três milhões de toneladas de trigo, indicando um patamar recorde para o cereal (CONAB, 2022).

Ao mesmo tempo em que essa evolução na agricultura brasileira acontece, cresce também de maneira indiscriminada o uso de agrotóxicos para combater ervas daninhas, insetos, fungos e outras ‘pragas’ que ameaçam a produtividade. Um estudo comparando a utilização e a não utilização de herbicidas no preparo do solo na rotatividade de culturas de trigo-milho e alho-soja constata que a não utilização dos herbicidas adicionou mais matéria orgânica no solo e economicamente, o lucro líquido correspondeu a 69% a mais em função da produtividade de soja-alho em uma produção orgânica (MUMINOV *et al.*, 2018).

Os produtos orgânicos são uma forma mais saudável de consumir alimentos no que compete a saúde humana, além de se caracterizarem como sustentáveis e ecologicamente corretos. Mesmo com a sua importância e valorização, há dificuldades em encontrar técnicas culturais e sociais que fomentem a produtividade desses alimentos (CASTRO; HORI; INOUE, 2021). Assim, o uso de agrotóxicos ainda configura-se como uma alternativa para intensificar a produtividade agrícola, sendo que em 2018, a ANVISA lançou o Programa de Análise de Resíduos de Agrotóxicos em Alimentos (PARA) com vistas a analisar, pela primeira vez, o acúmulo desses compostos químicos nos alimentos e sua relação com a saúde humana.

O risco agudo das irregularidades observadas nos alimentos está relacionado após 24 horas da ingestão do produto que contenha o resíduo químico, podendo causar intoxicação. Foram avaliados 25 tipos de alimentos, totalizando 12.051 amostras de cereais, frutas, hortaliças e raízes, no período de 2013 a 2015, em todo o território brasileiro. As irregularidades encontradas não representaram risco significativo à saúde do consumidor do ponto de vista agudo, mas podem aumentar riscos ao agricultor em caso de utilização em desacordo com as recomendações autorizadas pelos órgãos competentes (ANVISA, 2019).

O principal objetivo do PARA é verificar se os alimentos comercializados apresentam agrotóxicos autorizados em níveis de resíduos dentro dos Limites Máximos de Resíduos

estabelecidos (ANVISA, 2018). No entanto, múltiplos estudos são necessários para determinar o LMR de um produto químico no alimento. Recentemente, a *European Food Safety Authority* (EFSA) analisou na Finlândia o LMR para trigo do herbicida clopiralide, considerando o limite de quantificação validado (LOQ) de 0,01 mg/Kg. Embasado nos resultados de riscos, concluiu-se que a improvável ingestão de curto e longo prazo do herbicida, de acordo com o relato de práticas agrícolas, representa um risco para a saúde do consumidor (ANASTASSIADOU *et al.*, 2021).

É importante ressaltar que a definição do LMR de um determinado produto não abona que o resíduo do herbicida em questão esteja presente em culturas rotativas e/ou sucessivas, sendo comprovado que múltiplos agentes químicos podem contaminar o ambiente. É o caso do saflufenacil, aplicado na safra de trigo em uma taxa padrão de 63g/hectare. Por ser demasiadamente solúvel, se degrada ao longo de 212 dias em metabolito persistente Saf-RC. Todavia, quando esse metabolito é encontrado em concentração de 1/10 sugere-se que a maioria do suflufenacil foi transportado pelo solo ou absorvida pela cultura de trigo, denotando os riscos de tal herbicida (GAUTHIER; MABURY, 2020).

Outro produto químico que compõe herbicidas utilizados no trigo e que também é encontrado no solo corresponde ao Ametryn. Esse pertence à família das triazinas, sendo amplamente utilizado no combate às ervas daninhas na China e em outras partes do mundo. Os acúmulos de ametrina nas culturas de trigo, milho, azevém e alfafa foram avaliados comparativamente, sendo que a maior incidência do herbicida foi encontrada nas raízes de trigo e de alfafa. Já no plantio de azevém, o resíduo de ametrina no solo mostrou-se inferior devido à capacidade de translocação das raízes para as partes aéreas. Assim, diferentemente do que acontece na cultura do trigo, o azevém contribui para a remoção do herbicida do solo (LIU *et al.*, 2017).

Em contrapartida, o azevém também se configura como uma planta daninha prejudicial para determinadas produções de grãos. Com a rotatividade de culturas, é possível minimizar a infestação dessas plantas, e como consequência positiva, oportunizar a redução de herbicidas. Um estudo realizado na Região Sul do Brasil demonstrou que, no intervalo entre a colheita da soja e o plantio do trigo, múltiplas espécies daninhas rebrotaram – entre elas, o azevém. Logo, tem-se recomendações de uma época adequada para o uso de agentes químicos como estratégia para controle, haja vista que, em sequência, o trigo irá cobrir o solo e ter um efeito supressivo sobre novas infestações. Portanto, pelo menos duas culturas de trigo e milho seriam fundamentais para uma redução de aproximadamente 95% de azevém (RIZZARDI, 2021a).

Já Schlatter *et al.* (2017) abordaram aspectos relacionados ao uso do glifosato, que se configura como um dos principais herbicidas utilizados no mundo todo para controle de plantas daninhas em sistemas de plantio direto. Os autores investigaram o impacto de tratamentos repetidos com glifosato em comunidades bacterianas no solo e na rizosfera de trigo, em solos com e sem histórico de uso do herbicida em longo prazo. Os efeitos da aplicação do produto foram sutis e em comparação com fatores de localização e sistemas de cultivo, mostraram-se menores. Também evidenciaram que uma pequena porcentagem das comunidades bacterianas foi influenciada diretamente pelo herbicida, sendo que a maioria delas foi estimulada possivelmente pela morte das raízes de trigo, de modo que o impacto no solo mostrou-se mínimo.

Em adição, Barnett e Gibson (2020) verificaram as consequências do uso do herbicida glifosato diretamente no estímulo do amadurecimento do trigo antes de sua colheita, evidenciando relatos de resíduos em produtos comerciais na América do Norte. Os autores elencaram os efeitos desse produto químico sobre o microbioma intestinal, concluindo que os resíduos em alimentos derivados de trigo podem causar disbiose – um distúrbio intestinal no qual predomina bactérias ‘ruins’, que geralmente desencadeiam outras patologias.

Por sua vez, Magnoli *et al.* (2020) realizaram um estudo na China com o ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D) e atrazina, cujos resultados detectaram a contaminação no solo e na água. O experimento ocorreu entre os anos de 2013 e 2014 nos campos de trigo de inverno e milho de verão. Em todas as amostragens de águas subterrâneas e de rios foi detectada a presença dos dois herbicidas. No entanto, as maiores concentrações de 2,4-D e atrazina ocorreram na água provenientes dos rios, com variações de 3,00 e 0,96µg/L, respectivamente (BRAUNS *et al.*, 2017).

Já o 2,4-D é um hormônio vegetal sintético da auxina e caracteriza-se como uma alternativa vantajosa para evitar os danos ao meio ambiente mediante a utilização da remediação realizada por microrganismos. Esses agem degradando o principal metabólito do herbicida, o 2,4-diclorofenol (2,4 -DCP), evitando a poluição e salvaguardando a saúde da população (MAGNOLI *et al.*, 2020).

Apesar da relevância dos herbicidas para a produção agrícola em virtude de sua hegemonia como método para o controle de plantas daninhas, as consequências ambientais fomentaram uma grande pressão sobre os agricultores. Essas objetivam, sobretudo, a redução da utilização de tais produtos – o que se espera que seja realizado em consonância com o aumento na produção devido à maximização da demanda mundial por alimentos (GABA *et al.*, 2016).

Buscando encontrar uma solução equilibrada para esse problema, Gaba *et al.* (2016) realizaram um estudo na França, analisando a relação entre ervas daninhas, herbicidas e rendimentos de trigo. Para tanto, consideraram uma amostra de 150 lavouras do cereal. Os resultados sugerem que a redução no uso de herbicidas em até 50% poderia manter a produção agrícola estável e sem significativas perdas, ao mesmo tempo em que estimula a biodiversidade de plantas daninhas. Todavia, tal pesquisa fomenta questionamentos, pois ao reduzir drasticamente o uso desses agentes químicos, é possível incorrer no aumento da quantidade de plantas invasoras que prejudicam no momento da colheita – o que intensifica a quantidade de impurezas no trigo.

Não obstante, Zhang *et al.* (2016) avaliaram as aplicações de agrotóxicos no plantio de arroz, trigo e milho em lavouras da China, contrapondo tais práticas com as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE). Os autores aplicaram 58,3 kg/ton de 50 tipos diferentes de herbicidas nas três culturas, o que representou 59,3% da emissão total de GEE, totalizando 1,5 TgCe. Nesse sentido, reverbera-se que no Brasil, de maneira geral, a atividade agropecuária no período de 1990 a 2019 foi responsável por 23% das emissões de GEE (SEEG, 2022).

Por sua vez, o estudo realizado por Bragagnolo e Tateishi (2022) corrobora com esse panorama. Após avaliarem 3.959 municípios brasileiros em relação à produtividade agrícola e a emissão de gases poluentes, os autores constataram que apenas 35% desses apresentaram um índice de crescimento de produtividade econômica simultaneamente à diminuição das emissões de GEE.

Ademais, quando os herbicidas são detectados nos alimentos, ocasionam efeitos indesejáveis na saúde e no bem-estar dos indivíduos. Os impactos do uso de 8mg/kg de butacloro – herbicida amplamente utilizado no trigo, arroz e feijão – foram verificados em 20 camundongos experimentais, cujas evidências apontam 61 metabolitos diferentes que levaram a interrupção do metabolismo lipídico do fígado dos animais, além de outros efeitos hepatotóxicos induzidos por butacloro (YANG *et al.*, 2021).

No que tange aos principais alimentos produzidos com base no trigo e destinados à alimentação humana, destaca-se a farinha. Tal produto integra a cultura alimentar de distintas populações ao redor do mundo, de modo que detectar e controlar a quantidade de herbicidas e seus metabolitos que podem resultar em resíduos no alimento é essencial para minimizar os riscos à saúde humana. Com base nessa premissa, Li *et al.* (2021) desenvolveram um método pautado na cromatografia líquida de ultra-eficiência de espectrometria de massas em tandem, que mostrou-se satisfatório para a detecção do herbicida bixlozone e de seus metabolitos no

alimento. Os pesquisadores afirmaram ainda que trata-se de um método de baixo custo e passível de ser empregado para a identificação e a análise de outros herbicidas.

Sob essa perspectiva, reverbera-se que as pesquisas são fundamentais para estabelecer limites seguros do uso de herbicidas para os produtores agrícolas, bem como para o meio ambiente e para a saúde alimentar. Um experimento realizado com uma família na Suécia comparou uma dieta considerada normal e baseada em alimentos tradicionais durante três semanas com um mesmo período caracterizado apenas pela ingestão de alimentos orgânicos. Como procedimentos metodológicos, realizaram-se exames de urina, que mostraram resíduos de pesticidas, fungicidas e herbicidas. No organismo dos pais, os exames detectaram sete tipos de produtos químicos, enquanto que os testes realizados com as três crianças da família mostraram cinco tipos de agrotóxicos (JARDIM DO MUNDO, 2022).

O principal ponto de preocupação é os efeitos desses agrotóxicos em longo prazo, uma vez que as concentrações encontradas nessa família não superaram os limites estabelecidos pelas pesquisas como sendo aceitáveis em uma dieta. Destaca-se que após a introdução de produtos orgânicos na alimentação, houve o desaparecimento da maioria dos agentes químicos (JARDIM DO MUNDO, 2022). Em suma, emerge a necessidade de explorar os efeitos dos agrotóxicos de uma maneira geral, não só nos estudos experimentais, mas também em ensaios clínicos e epidemiológicos. Assim, pode-se contribuir para o desenvolvimento de políticas públicas realmente eficazes, sobretudo no Brasil, um dos países com maior consumo de agrotóxicos (GIRALDO; JUNIA, 2011).

A importância da utilização de herbicidas nas culturas de trigo em conformidade com a legislação e com as boas práticas de produção também engloba o modo como o agricultor realiza as aplicações e descarta as embalagens. O uso dos EPIs protege a saúde do trabalhador e o descarte correto das embalagens plásticas previne a contaminação ambiental e humana (SALOMÃO; FERRO; RUAS, 2020). Em síntese, o Quadro 2 apresenta os herbicidas citados no portfólio analisado e descreve a utilização legal desses produtos no Brasil, bem como seus principais impactos ambientais e sobre a saúde humana, conforme evidenciado na revisão.

Quadro 2 – Impactos dos herbicidas verificados na revisão sistemática da literatura e aspectos legais de uso no Brasil

Herbicida	Uso autorizado no Brasil	Liberado para o cultivo de trigo	Principais impactos	
Glifosato	Sim	Não	Saúde humana	Disbiose
Butacloro				Hepatotóxico
Glifosinato de Amônio*		Sim	Saúde humana	Resíduos em grãos
2,4-D				Água e solo
Suflufenacil				Solo
Ametrina	Não	Não	Meio ambiente	Água e solo
Atrazina				Resíduos em grãos
Bixlozone			Saúde humana	Resíduos em grãos
Clopiralide				

*Único herbicida liberado para dessecação de trigo no Brasil

Fonte: Elaborado com base nos resultados da pesquisa (2022) e no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2022).

O uso de herbicidas para controle de plantas daninhas auxilia também na prática de dessecação do trigo, com o objetivo de estimular a sua maturação. Considerado um herbicida de contato, o glufosinato de amônio é o único registrado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2022) para essa finalidade no Brasil. Os herbicidas 2,4-D, flumioxazina e saflufenacil possuem registro somente para uso em estágios específicos de desenvolvimento da planta ou pré-semeadura do trigo (RIZZARDI, 2021b). No caso do glifosato, um herbicida sistêmico, os resíduos se acumulam facilmente nos grãos do cereal na época de enchimento, gerando compostos dotados de maior toxicidade (JORIS *et al.*, 2022).

No estudo de Tavares *et al.* (2018) utilizaram-se os herbicidas 2,4-D, paraquate, glifosato, glufosinato de amônio e metsulfuron metílico para dessecação antes e após a maturação fisiológica do trigo. De maneira geral, a dessecação em pré-colheita posterior a maturidade fisiológica não alterou a qualidade e a produtividade do trigo. Além disso, o uso de metsulfuron metílico e paraquate, independente da época de aplicação, não apresentaram efeitos residuais nos grãos. Por outro lado, os resultados indicaram que o glufosinato de amônio, o glifosato e o 2,4-D, quando aplicados anteriormente à maturidade fisiológica, promoveram o acúmulo de resíduos no cereal.

O uso do herbicida paraquate é proibido em toda a União Europeia. Porém, mesmo com essa restrição, a Inglaterra e a China são as maiores produtoras de tal agente químico. Estudos sugerem efeitos mutagênicos, câncer e doença de Parkinson como principais danos ocasionados pela produto à saúde humana (TAJAI *et al.*, 2018; ANDREOTTI *et al.*, 2020).

No Brasil, em setembro de 2020, a ANVISA reavaliou a Resolução RDC nº 177 de 2017 e proibiu a utilização de produtos formulados a base do princípio ativo paraquate devido aos seus impactos a saúde humana (SECRETARIA DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E DESENVOLVIMENTO RURAL, 2020).

O não cumprimento das restrições de uso e a aplicação ilegal de agentes químicos nas culturas agrícolas podem implicar na apreensão dos grãos colhidos. Além disso, é fundamental respeitar o intervalo de segurança – que leva em consideração o número de dias entre a última aplicação do herbicida e a colheita – sendo primordial para que o grão colhido não apresente resíduos químicos acima do permitido, contribuindo para a promoção da segurança alimentar (RIZZARDI, 2021b).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trigo é um dos principais cereais de consumo alimentar no mundo, destacando sua importância de cultivo para além da economia agrícola. A oferta e a demanda norteiam anualmente a produção mundial, e como consequência desse processo, novos investimentos em técnicas de plantio, tecnologia avançada e uso de produtos químicos configuram-se como fatores necessários para a maximização da produtividade. Nesse cenário, impactos diretos e indiretos na saúde ambiental, humana e econômica tornam-se explícitos ano após ano.

O uso de herbicidas na cultura de trigo é importante para o controle de plantas daninhas que dificultam o desenvolvimento do cereal e proporcionam impurezas ao momento da colheita. Outra utilização desses agentes químicos corresponde à dessecação pré-colheita, acelerando o amadurecimento e a secagem do grão, o que implica em benefícios econômicos e oportuniza o plantio antecipado da nova cultura. O principal prejuízo concernente a tais utilizações se relaciona a saúde do meio ambiente, pois os herbicidas geram acúmulo de resíduo no solo e na água, podendo também contribuir para a emissão de GEE quando seu uso não segue as orientações descritas quanto à quantidade e/ou período indicado de aplicação.

Esses resíduos quando direcionados a saúde humana, prejudicam a alimentação saudável, uma vez que o trigo corresponde à matéria-prima para inúmeros alimentos da dieta básica e de consumo diário. Os resíduos dos herbicidas glifosinato de amônio, clopiralide e bixlozone foram evidenciados nos grãos após a colheita. De igual forma, a literatura analisada demonstrou a incidência de efeitos hepatotóxicos por butacloroem camundongos e de problemas intestinais em humanos devido ao glifosato.

Portanto, a obtenção de LMRs para todos os herbicidas, bem como o cumprimento de leis e procedimentos por parte dos agricultores e a criação de políticas públicas de saúde são aspectos emergentes e primordiais para a harmonização entre os três pilares do cultivo de trigo. Destaca-se ainda que este achado não deva limitar-se somente a realidade brasileira, mas sim considerar todo o mundo, pois os problemas evidenciados nos resultados desse estudo tendem a se repetirem de maneira universal.

REFERÊNCIAS

- ABTRIGO. **Associação Brasileira da Indústria do Trigo**. O triticultor e o mercado. 2011. Disponível em: <http://abitrigo.com.br/associados/arquivos/cartilha_triticultor.pdf>. Acesso em: Abril de 2022.
- AGOSTINETTO, D.; FLECK N. G.; MENEZES V. G. Herbicidas não seletivos aplicados na fase de maturação do arroz irrigado. **Scientia Agrícola**, v. 58, n. 2, p. 277-285, 2001.
- ÁLVARES, S. A Ciência fala inglês? Em tempos de mudança. **Nascer e Crescer: Revista de Pediatria do Centro Hospitalar do Porto**, v. 25, n. 3, p. 133-135, 2016.
- ANASTASSIADOU, M. *et al.* Modification of the existing maximum residue levels for clopyralid in various commodities. **European Food Safety Authority Journal**, v. 19, n. 1, p. e06389, 2021.
- ANDREOTTI, G. *et al.* Occupational pesticide use and risk of renal cell carcinoma in the agricultural health study. **Environmental Health Perspectives**, v. 128, n. 6, p. 067011, 2020.
- ANVISA. **Agência Nacional de Vigilância Sanitária**. Regulamentação. Anvisa aprova novo marco regulatório para agrotóxicos. Brasília, DF: ANVISA, 2019.
- ANVISA. **Agência Nacional de Vigilância Sanitária**. Relatório sobre resíduos de agrotóxicos em alimentos. 2018. Disponível em: <<https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/noticias-anvisa/2018/divulgado-relatorio-sobre-residuos-de-agrotoxicos-em-alimentos>>. Acesso em: Maio de 2022.
- ARL, R. **Toxicidade reprodutiva do glifosato e herbicidas à base de glifosato: uma abordagem bibliográfica**. Graduação em Farmácia. (Trabalho de Conclusão de Curso). 56f. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2021.
- BARBOSA L. R. **Uso de agrotóxico e seus impactos na saúde humana e ao meio ambiente: um estudo com agricultores da microbacia hidrográfica do Ribeirão Arara no município de Paranaíba, PR**. Especialização em Gestão Ambiental em Municípios. (Monografia). 42f. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2014.
- BARNETT, J. A.; GIBSON, D. L. Separating the empirical wheat from the pseudoscientific chaff: a critical review of the literature surrounding glyphosate, dysbiosis and wheat-sensitivity. **Frontiers in Microbiology**, p. 2269, 2020.
- BOGER, A. K. Momento fisiológico das plantas de trigo para a dessecação e seus efeitos no rendimento de grãos. **Engenharia Agrônoma**, p. 14-14, 2020.
- BORDIN, A. B. **Análise de resíduos de pesticidas em farinha de trigo integral usando método QuEChERS modificado e determinação por LC-MS/MS**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos e Tecnologias. (Dissertação de Mestrado). 88f. Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2014.
- BOURDINEAUD, J. P. Toxicity of the herbicides used on herbicide-tolerant crops, and societal consequences of their use in France. **Drug Chem Toxicol**, v. 45, n. 2, p. 698-721,

2022.

BRAGAGNOLO, C.; TATEISHI, H. R. **Produtividade total dos fatores e emissões de dióxido de carbono na agricultura brasileira: uma medida de PTF ambientalmente sensível**. Economia Agrícola e do Meio Ambiente. 2022. Disponível em: <https://www.anpec.org.br/encontro/2021/submissao/files_I/i11-ada5869d9745aab6993443767485980e.pdf>. Acesso em: Maio de 2022.

BRAUNS, B. *et al.* Pesticide use in the wheat-maize double cropping systems of the North China Plain: Assessment, field study, and implications. **Science of the Total Environment**, v. 616, p. 1307-1316, 2018.

BRITO, M. A.; YADA, M. M. Impactos do herbicida glifosato na saúde humana. **Simpósio de Tecnologia da Fatec Taquaritinga**, v. 5, n. 1, p. 349-360, 2019.

BRIZOLA, J.; FANTIN, N. Revisão da literatura e revisão sistemática da literatura. **Revista de Educação do Vale do Arinos**, v. 3, n. 2, p. 23-39, 2016.

CARGNIN, M. *et al.* Fumicultura: uso de equipamento de proteção individual e intoxicação por agrotóxico tobacco farming. **Revista de Pesquisa: Cuidado é Fundamental Online**, v. 9, n. 2, p. 466, 2017.

CARNEIRO, F. F. *et al.* Segurança Alimentar e nutricional e saúde. Parte 1. In CARNEIRO, F. F. (Org.). **Dossiê ABRASCO: um alerta sobre os impactos dos agrotóxicos na saúde**. Rio de Janeiro: EPSJV; São Paulo: Expressão Popular, 2015.

CASTRO, M. A. S.; HORI, A. N.; INOUE, P. H. Dificuldades e desafios da comercialização de produtos orgânicos – um estudo na cidade de ourinhos – SP. **Revista de Gestão e Estratégia**, v. 1, n. 3, p. 01-10, 2021.

CECHINEL, M. H. **Dessecação química em pré-colheita do trigo**. Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal (Dissertação de Mestrado). 107f. Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2014.

CIT-RS. Centro de Informações Toxicológicas do Rio Grande do Sul. **Tabela 35: Número de Agentes Envolvidos em Casos de Exposição Humana a Agrotóxicos**. 2020. Disponível em: <http://www.cit.rs.gov.br/index.php?searchword=tabela+35&ordering=newest&searchphrase=all&Itemid=54&option=com_search>. Acesso em: Junho de 2022.

CNA-BRASIL. **Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil**. Notícias: segundo cereal mais produzido no mundo. 2022. Disponível em: <<https://www.cnabrazil.org.br/noticias/dia-do-trigo-cereal-e-o-segundo-mais-produzido-no-mundo#:~:text=Segundo%20estimativa%20da%20Companhia%20Nacional,em%20rela%C3%A7%C3%A3o%20C3%A0%20C3%BAltima%20safra>>. Acesso em: Março de 2022.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **A cultura do trigo**. Brasília, 2017. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/uploads/arquivos/17_04_25_11_40_00_a_cultura_do_trigo_versao_digital_final.pdf>. Acesso em: Maio de 2022.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Análise mensal de trigo**. Brasília: Dezembro, 2020. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado>>

agropecuario-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-trigo/item/15207-trigo-analise-mensal-dezembro-2020>. Acesso em: Maio de 2022.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Produção nacional de grãos é estimada em 269,3 milhões de toneladas na safra 2021/22**. 07 de abril de 2022. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/4579-producao-nacional-de-graos-e-estimada-em-269-3-milhoes-de-toneladas-na-safra-2021-22>>. Acesso em: Maio de 2022.

CREA-RS. Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Estado do Rio Grande do Sul. **Conselho em Revista**. Raio X da fiscalização. Uso de agrotóxicos: CREA-RS fiscaliza propriedades rurais do Estado. Ano XII. Setembro/Outubro 2016, p. 22-23.

DALTRO, E. M. F. *et al.* Aplicação de dessecantes em pré-colheita: efeito na qualidade fisiológica de sementes de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 32, n. 1, p.111-122, 2010.

DENSYN, N. K.; LINCOLN, Y. S. **O Planejamento da pesquisa qualitativa**: teorias e abordagens. São Paulo: Artmed, 2006.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **NASA confirma dados da Embrapa sobre área plantada no Brasil**. 2017. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/30972114/nasa-confirma-dados-da-embrapa-sobre-area-plantada-no-brasil>>. Acesso em: Maio de 2022.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Documento Online nº. 112**. Organização e método: descrição dos métodos usados para avaliar a qualidade de trigo. Embrapa Trigo, Passo Fundo, 2009. Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do112_5.htm>. Acesso em: Maio de 2022.

EMATER. Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural. **Emater-DF faz campanha para uso correto do herbicida 2,4-D em lavouras de grãos**. 27 de Outubro de 2021. Disponível em: <<https://emater.df.gov.br/emater-df-faz-campanha-para-uso-correto-do-herbicida-24-d-em-lavouras-de-graos/>>. Acesso em: Dezembro de 2021.

FERMAM, R. K. S.; ANTUNES, A. M. S. Uso de defensivos agrícolas, limites máximos de resíduos e impacto no comércio internacional: estudo de caso. **Revista de Economia e Agronegócio**, v. 7, n. 2, p. 197-214, 2009.

FIPKE, G. M. *et al.* Produtividade e viabilidade econômica da antecipação da colheita de trigo pela aplicação de herbicidas. *In*: Embrapa Trigo-Resumo em anais de congresso (ALICE). *In*: **Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale**, 13. 2019, Passo Fundo. Ata e Resumos. Passo Fundo: Projeto Passo Fundo, p. 174-179, 2020.

FOLGADO, C. **A luta constante contra os agrotóxicos**: país lidera ranking mundial de uso de venenos na agricultura, prática impulsionada pelo agronegócio. Brasil de fato. 11 jan. 2013. Disponível em: <<https://www.brasildefato.com.br/node/11533/>>. Acesso em: Outubro de 2021.

GABA, S. *et al.* Herbicides do not ensure for higher wheat yield, but eliminate rare plant species. **Scientific Reports**, v. 6, n. 1, p. 1-10, 2016.

GAUTHIER, J. R.; MABURY, S. A. The Environmental Degradation and Distribution of Saflufenacil, a Fluorinated Protoporphyrinogen IX Oxidase-Inhibiting Herbicide, on a Canadian Winter Wheat Field. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 39, n. 10, p. 1918-1928, 2020.

GINSBERG, A.; VENKATRAMAN, N. Contingency perspective of organizational strategy: a critical review of the empirical research. **Academy of Management Review**, v. 10, p. 421–34, 1985.

GIRALDO, L.; JUNIA, R. Como o Brasil se tornou o maior consumidor mundial de agrotóxicos? **EPSJV/Fiocruz. Jornal Brasil de Fato**. Março, 2011. Disponível em: <<https://agrotoxiconao.wordpress.com/2011/03/02/como-o-brasil-se-tornou-o-maior-consumidor-mundial-de-agrotoxicos/>>. Acesso em: Maio de 2022.

GRIFFIN, J. L. *et al.* Herbicides as harvest aids. **Weed Science**, v. 58, n. 3, p. 355-358, 2010.

GUTKOSKI, L. C. *et al.* Armazenamento de farinha de trigo enriquecida com ferro e ácido fólico e seu efeito na produção de pão de forma. **Alimentos e Nutrição**, v.18, n.1, p.93-100, 2007.

HAAS, P.; HOEHNE, L.; KUHN, D. Revisão: avaliação dos efeitos do glifosato no ecossistema agrícola e sua toxicidade para a saúde humana. **Revista Destaques Acadêmicos**, v. 10, n. 4, 2018.

HARTWIG, I. *et al.* Tolerância de trigo (*Triticumaestivum*) e aveira (*Avena SP.*) a herbicidas inibidores da enzima acetolactatositase (ALS). **Planta Daninha**, v. 26, n. 2, p. 361-368, 2008.

JARDIM DO MUNDO. **Sustentabilidade**. Experiências mostram impacto de agrotóxicos no organismo. 2022. Disponível em: <<https://jardimdomundo.com/experiencia-mostra-impacto-de-agrotoxicos-no-organismo>>. Acesso em: Abril de 2022.

JORIS, H. A. W. *et al.* Informações técnicas para trigo e triticale. Safra 2022. **14ª Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale**. Disponível em: <<https://www.conferencebr.com/conteudo/arquivo/informacoes-tecnicas-para-trigo-e-triticale-safra-2022-1649081250.pdf>>. Acesso em: Maio de 2022.

KITCHENHAM, B.; CHARTERS S. **Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering**. Technical Report, EBSE-2007-01: School of Computer Science and Mathematics, Keele University, 2007.

KOGER, C. H. *et al.* Rice (*Oryza sativa*) response to drift rates of glyphosate. **Pest Management Science**, n. 61, p. 1161–1167, 2005.

KRONBAUER, E. A. *et al.* Agrotóxicos em água do Rio e água tratada no Município de Encantado/RS. **Ambiente: Gestão e Desenvolvimento**, v. 14, n. 2, p. 01-12, 2021.

LACERDA A. L. S. *et al.* Efeitos da dessecação de plantas de soja no potencial fisiológico e sanitário das sementes. **Tecnologia de Sementes**, v. 64, n. 3, p. 447-457, 2005.

LEITE, H. T. **Webartigos**: A Revolução Verde na Agricultura. 07 mar. 2013. Disponível em: <<http://www.webartigos.com/artigos/a-revolucao-verde-na-agricultura/104949/>>. Acesso em: Setembro de 2021.

LÉVY, P. **As tecnologias da inteligência**: o futuro do pensamento na era da informática. São Paulo: Ed. 34, 2008.

LI, C. *et al.* Simultaneous determination of the herbicide bixlozone and its metabolites in plant and animal samples by liquid chromatography-tandem mass spectrometry. **Journal of Separation Science**, v. 44, n. 4, p. 822-832, 2021.

LIU, Y. *et al.* Comprehensive analysis of degradation and accumulation of ametryn in soils and in wheat, maize, ryegrass and alfalfa plants. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 140, p. 264-270, 2017.

MACHADO, J. M. *et al.* Bioprospecção de micro-organismos nativos com potencial biorremediador de solos contaminados por herbicidas. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 14, n. Supl. 2, p. 1-17, 2021.

MAGNOLI, K. *et al.* Herbicides based on 2,4-D: its behavior in agricultural environments and microbial biodegradation aspects. A review. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 27, n. 31, p. 38501-38512, 2020.

MAIS SOJA. **Mercado do trigo**. 2022. Disponível em: <https://conteudo.maissoja.com.br/fisiologia-de-macro-e-micronutrientes?ref=F53516988U&gclid=Cj0KCQjw1tGUBhDXARIsAIJx01kPFoxA3aXRsf72v3TfwktxQXFakPJLpXLHVypj7JuC08DalbOvjnAaAr3rEALw_wcB>. Acesso em: Maio de 2022.

MALHOTRA, N.; ROCHA, I.; LAUDISIO, M. C. **Introdução à pesquisa de marketing**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Produtos vegetais padronizados**. 2016. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/produtos-vegetais-padronizados>>. Acesso em: Março de 2022.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Agrotóxicos**: registros de agrotóxicos e afins. 2022. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/agrotoxicos>>. Acesso em: Mai. 2022.

MARCANDALLI, L. H.; LAZARINI, E.; MALASPINA, I. G. Épocas de aplicação de dessecantes na cultura da soja: Qualidade fisiológica de sementes. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 33, n. 2, p. 241-250, 2011.

MARCOS FILHO, J. Desenvolvimento (maturação) de sementes In: MARCOS FILHO, J. (Org.). **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba-SP: FEALQ, v. 12, 2004.

MARTINI, L. F. D. *et al.* Risco de contaminação das águas de superfície e subterrâneas por agrotóxicos recomendados para a cultura do arroz irrigado. **Ciência Rural**, v. 42, n. 10, p. 1715-1721, 2012.

MATTAR, F. N. **Pesquisa de marketing**: metodologia, planejamento, execução e análise. São Paulo: Atlas, 1994.

MELLO, F. A. *et al.* Agrotóxicos: impactos ao meio ambiente e à saúde humana. **Colloquium Vitae**, p. 37-44, 2019.

MORANDI, M. I. W. M.; CAMARGO, L. F. R. Revisão sistemática da literatura. *In*: DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; ANTUNES JR., J. A. V. **Design science research**: método e pesquisa para avanço da ciência e da tecnologia. Porto Alegre: Bookman, 2015.

MUMINOV, M. A. *et al.* Comparisons of weed community, soil health and economic performance between wheat-maize and garlic-soybean rotation systems under different weed managements. **PeerJ**, v. 6, p. e4799, 2018.

MP-RS. **Agrotóxicos e Receita Agrônômica**: aspectos legais. Passo Fundo, 2015. Disponível em: <<http://www.crea-rs.org.br/site/documentos/MP-RS.pdf>>. Acesso em: setembro de 2021.

OLIVEIRA, A. M. **Sensibilidade de trigo do Cerrado a herbicidas e à interferência de plantas daninhas**. Bacharelado em Engenharia Agrônômica (Trabalho de Conclusão de Curso). 35f. Universidade Federal de Uberlândia, Monte Carmelo, 2019.

PERBONI, L. T. *et al.* Yield, germination and herbicide residue in seeds of pre harvest desiccated wheat. **Journal of Seed Science**, v. 40, n. 3, p. 304-312, 2018.

PEREIRA, J. **Tecnologia e qualidade de cereais**: arroz, trigo, milho, aveia. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Qualidade de Alimentos Vegetais. (Trabalho de Conclusão de Curso) 130f. Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

PEREIRA, T. *et al.* Dessecação química para antecipação de colheita em cultivares de soja. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 4, p. 2383-2394, 2015.

PIASECKI, C. *et al.* Seletividade de associações e doses de herbicidas em pós emergência do trigo. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 16, n. 4, p. 286-295, 2017.

PIRES, J. L. F. *et al.* **Impactos de mudanças climáticas/variabilidade nos sistemas de produção de trigo e estratégias para a adaptação da cultura no Sul do Brasil**. Embrapa Trigo, Passo Fundo, 2012. Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do71_tc32-1.PDF>. Acesso em: Maio de 2022.

PIZZI, D. **O uso de agrotóxicos na produção de trigo, seus riscos à saúde e ao ambiente**: uma revisão de literatura. Bacharelado em Desenvolvimento Rural. (Trabalho de Conclusão de Curso). 58f. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

RICHARDSON, R. J. **Pesquisa social**: métodos e técnicas. São Paulo: Atlas, 1999.

RIZZARDI, M. A. **A importância do Trigo no manejo de plantas daninhas no sistema**. Up. Herb. Academia de plantas daninhas. 2021a. Disponível em: <<https://www.upherb.com.br/int/a-importancia-do-trigo-no-manejo-de-plantas-daninhas-no-sistema>>. Acesso em: Maio de 2022.

RIZZARDI, M. A. **Dessecação do trigo**. Up. Herb. Academia de plantas daninhas. 2021b.

Disponível em: <<https://www.upherb.com.br/int/dessecacao-do-trigo>>. Acesso em: Maio de 2022.

RIZZARDI, M. A. **Chegou o momento de “fabricar” o herbicida**. Up. Herb. Academia de plantas daninhas. 2022. Disponível em: <<https://www.upherb.com.br/int/chegou-o-momento-de-fabricar-o-herbicida>>. Acesso em: Junho de 2022.

SALOMÃO, P. E. A.; FERRO, A. M. S.; RUAS, W. F. Herbicidas no Brasil: uma breve revisão. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 2, p. e32921990-e32921990, 2020.

SECRETARIA DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E DESENVOLVIMENTO RURAL. **Secretaria da Agricultura publica nota técnica sobre proibição do uso do Paraquate a partir de hoje**. Publicado em setembro de 2020. Disponível em: <<https://www.agricultura.rs.gov.br/secretaria-da-agricultura-publica-nota-tecnica-sobre-proibicao-do-uso-do-paraquate-a-partir-de-hoje>>. Acesso em: Maio de 2022.

SCHLATTER, D. C. *et al.* Impacts of repeated glyphosate use on wheat-associated bacteria are small and depend on glyphosate use history. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 83, n. 22, p. e01354-17, 2017.

SCHEUER, P. M. *et al.* Trigo: características e utilização na panificação. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 13, n. 2, p. 211-222, 2011.

SEGATTO, A. *et al.* Fitotoxicidade do herbicida imazethapyrna cultura da aveia em sucessão com arroz irrigado. **Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão**, v. 10, n. 2, 2018.

SEEG. **Sistema de Estimativa de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa**. 2022. Disponível em: <<https://plataforma.seeg.eco.br/sectors/agropecuaria>>. Acesso em: Maio de 2022.

SEIDLER, E. P. *et al.* Dessecação em pré-colheita do trigo: nova preocupação para a qualidade do cereal no consumo humano. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 18, n. 3, p. 200-208, 2019.

SILVEIRA, D. F.; CÓRDOVA, F. P. Unidade 2: A pesquisa científica. In: GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. F. (Orgs.). **Métodos de pesquisa**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

SOARES, D. *et al.* Análise de risco de contaminação de águas subterrâneas por resíduos de agrotóxicos no município de Campo Novo do Parecis (MT), Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 2, p. 277-284, 2016.

SUTORILLO, N. T. *et al.* Efeito dos Herbicidas Glifosato, 2, 4-D, Glufosinato de Amônio e Haloxyfop sobre o Sistema Nervoso Central de *Caenorhabditis elegans*. In: **Anais... IV SerTão Aplicado: Mostra de Ensino, Pesquisa e Extensão do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, Sertão**, 2019.

TAJAI, P. *et al.* An engineered cell line lacking OGG1 and MUTYH glycosylases implicates the accumulation of genomic 8-oxoguanine as the basis for paraquat mutagenicity. **Free Radical Biology & Medicine**, v. 116, p. 64–72, 2018.

TAVARES, L. C. **Competição de azevém e nabo, manejo de nitrogênio e dessecação pré-colheita na produção de sementes de trigo**. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes (Tese de Doutorado). 111f. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2015.

TAVARES, L. C. *et al.* Produtividade, qualidade fisiológica e resíduo em sementes de trigo em função da dessecação com herbicidas. **Colloquium Agrariae**, v. 14, n. 3, p. 132-143, 2018.

VAN AKEN, J. **Management research based on the paradigm of the design sciences: the quest for field-tested and grounded technological rules**. Eindhoven: Eindhoven University of Technology, Eindhoven Centre for Innovation Studies, 2001.

VARGAS, L. *et al.* **Eficiência de herbicidas para dessecação pré-colheita do trigo e efeitos sobre rendimento de grãos, germinação e qualidade tecnológica**. 2016. Disponível em:
<<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1050830/1/ID437382016RCBPTT10LEANDRO10.PDF>>. Acesso em: Setembro de 2021.

YANG, B. *et al.* Exposure to the herbicide butachlor activates hepatic stress signals and disturbs lipid metabolism in mice. **Chemosphere**, v. 283, p. 131226, 2021.

WANG, J. *et al.* Different increases in maize and wheat grain zinc concentrations caused by soil and foliar applications of zinc in Loess Plateau, China. **Field Crops Research**, v. 135, p. 89-96, 2012.

ZHANG, G. *et al.* Estimations of application dosage and greenhouse gas emission of chemical pesticides in staple crops in China. **The Journal of Applied Ecology**, v. 27, n. 9, p. 2875-2883, 2016.