

INSTITUTO FEDERAL GOIANO – CAMPUS CERES
LICENCIATURA EM QUÍMICA
MYLENA VILELA

ANÁLISE DE ESTUDOS PUBLICADOS SOBRE O HERBICIDA GLIFOSATO NO
CONTEXTO DA QUÍMICA AMBIENTAL

CERES – GO
2021

MYLENA VILELA

**ANÁLISE DE ESTUDOS PUBLICADOS SOBRE O HERBICIDA GLIFOSATO NO
CONTEXTO DA QUÍMICA AMBIENTAL**

Trabalho de curso apresentado ao curso de Licenciatura em Química do Instituto Federal Goiano – Campus Ceres, como requisito parcial para a obtenção do título de Licenciado em Química, sob orientação do Prof. Dr. Jozemir Miranda dos Santos.

**CERES – GO
2021**

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

V699a Vilela, Mylena
Análise de estudos publicados sobre o herbicida
glifosato no contexto da Química Ambiental / Mylena
Vilela; orientador Dr. Jozemir Miranda dos Santos. --
Ceres, 2021.
48 p.

TCC (Graduação em Licenciatura em Química) --
Instituto Federal Goiano, Campus Ceres, 2021.

1. Herbicida. 2. Glifosato. 3. Solo. 4. Meio
ambiente. 5. Periódico. I. Santos, Dr. Jozemir
Miranda dos, orient. II. Título.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Formulário 127/2021 - CCEG-CE/CEG-CE/GE-CE/DE-CE/CMPCE/IFGOIANO

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese | <input type="checkbox"/> Artigo Científico |
| <input type="checkbox"/> Dissertação | <input type="checkbox"/> Capítulo de Livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia - Especialização | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input checked="" type="checkbox"/> TCC - Graduação | <input type="checkbox"/> Trabalho Apresentado em Evento |
| <input type="checkbox"/> Produto Técnico e | Educacional - Tipo: |

Nome Completo do Autor: Mylena Vilela

Matrícula: 2017103221550029

Título do Trabalho: Análise de estudos publicados sobre o herbicida glifosato no contexto da química ambiental

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: Não Sim, justifique: _____

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 13/08/2021

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

1. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
2. obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
3. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Ceres, 21/07/2021.

Mylena Vilela
Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:

Jozemir Miranda dos Santos
Assinatura do orientador

Documento assinado eletronicamente por:

- Mylena Vilela, 2017103221550029 - Discente, em 21/07/2021 16:06:05.
- Jozemir Miranda dos Santos, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 21/07/2021 16:04:09.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 21/07/2021. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 292309
Código de Autenticação: d528e0a159



INSTITUTO FEDERAL GOIANO
Campus Ceres
Rodovia GO-154, Km.03, Zona Rural, None, CERES / GO, CEP 76300-000
(62) 3307-7100



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 14/2021 - CCEG-CE/CEG-CE/GE-CE/DE-CE/CMPCE/IFGOIANO

LICENCIATURA EM QUÍMICA

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

Aos treze do mês de julho do ano de dois mil e vinte e um, realizou-se a defesa de Trabalho de Curso da acadêmica Mylena Vilela, do Curso de Licenciatura em Química, matrícula 2017103221550020, cuja monografia intitula-se “Análise de estudos sobre o herbicida glifosato no contexto da Química Ambiental”. A defesa iniciou-se às 14:00 horas e 05 minutos, finalizando-se às 16:00 horas e 10 minutos. A banca examinadora considerou o trabalho, aprovado com média 9,40 no trabalho escrito, média 9,23 no trabalho oral apresentando assim, média aritmética final de 9,30 pontos, estando a estudante aprovada para fins de conclusão do Trabalho de Curso. Após atender às considerações da banca e respeitando o prazo disposto em calendário acadêmico, a estudante deverá fazer a submissão da versão corrigida em formato digital (.pdf) no Repositório Institucional do IF Goiano - RIIF, acompanhado do Termo Ciência e Autorização Eletrônico (TCAE), devidamente assinado pelo autor e orientador. Os integrantes da banca examinadora assinam a presente.

Jozemir Miranda dos Santos (IF Goiano/Campus Ceres)
(Presidente da Banca)

Beatriz Nogueira da Cunha (IF Goiano/Campus Ceres)
(Banca Examinadora)

Cristiane Andretta Francisco (IF Goiano/Campus Ceres)
(Banca Examinadora)

Documento assinado eletronicamente por:

- Cristiane Andretta Francisco, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 26/07/2021 17:57:36.
- Beatriz Nogueira da Cunha, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 23/07/2021 18:03:50.
- Jozemir Miranda dos Santos, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 21/07/2021 15:52:34.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 21/07/2021. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 292304
Código de Autenticação: 33fa3b5eab



INSTITUTO FEDERAL GOIANO

Campus Ceres

Rodovia GO-154, Km.03, Zona Rural, None, CERES / GO, CEP 76300-000

(62) 3307-7100

Dedico este trabalho à minha mãe, que sempre acreditou na importância da educação e incentivou-me a ter os estudos como prioridade.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela oportunidade de vivenciar essa experiência.

Agradeço ao professor Dr. Jozemir pelos ensinamentos e pela orientação.

Agradeço aos demais professores pela contribuição com saberes essenciais para a minha formação.

Agradeço às amizades feitas no Instituto Federal, por me proporcionarem momentos felizes durante a graduação.

Agradeço aos meus familiares pelo incentivo e apoio nesta etapa tão importante da minha vida.

RESUMO

O controle químico com agrotóxicos nas lavouras é um método amplamente utilizado no manejo de pragas agrícolas. Destacam-se os herbicidas, que atuam no controle de plantas daninhas, como o glifosato. O glifosato é um exemplo de fosfonato. Caracteriza-se como um herbicida de pós-emergência e não seletivo. Quanto ao seu mecanismo de ação, ele atua como potente inibidor da enzima 5-enolpiruvilchiquimato-3-fosfato sintase (EPSPs), catalisadora das reações de síntese de aminoácidos precursores de compostos importantes para as plantas. O glifosato no solo possui elevada capacidade de adsorção. Estudos buscam compreender e explicar os mecanismos de ligação entre esse composto e o solo, observando-se que os mais comuns são a troca de ligantes com os óxidos de ferro e alumínio e as ligações de hidrogênio formadas entre o glifosato e as substâncias húmicas do solo. O herbicida é degradado por duas vias: uma via produz o ácido aminometilfosfônico (AMPA) e a outra leva à formação de sarcosina e glicina como metabólitos intermediários. Observa-se em vários trabalhos a ampliação de atividade microbiológica do solo com a aplicação do glifosato. Considerando a ampla utilização desse herbicida, a notável importância do setor agrícola para a economia mundial, a necessidade da proteção dos recursos naturais e a Química Ambiental como ciência que estuda os processos químicos que ocorrem no meio ambiente, o presente trabalho analisou a frequência de artigos encontrados na Scientific Electronic Library Online (SciELO) sobre o glifosato no contexto da Química Ambiental, buscando compreender os rumos da pesquisa científica acerca desse tema. Observou-se que ocorreram avanços nos estudos sobre o glifosato no decorrer dos anos, sendo 2019 o ano com mais publicações sobre esse tema. Em relação à autoria dos trabalhos, a maioria dos artigos apresentou autoria múltipla, ou seja, com 3 ou mais autores. Observou-se, ainda, o predomínio de autoria masculina nos trabalhos acerca do glifosato no contexto da Química Ambiental. Foi possível constatar que a Química Nova é a revista que mais publica artigos com esse enfoque. Concluiu-se que há necessidade de maior atenção sobre o tema na área de Química, considerando que desenvolver processos químicos que reduzam ou minimizem o uso de substâncias nocivas ao meio ambiente deve fazer parte da formação dos profissionais dessa área.

Palavras-chave: Herbicida. Glifosato. Solo. Meio Ambiente. Periódico.

ABSTRACT

Chemical control with pesticides in crops is a widely used method in the management of agricultural pests. Herbicides, which act to control weeds, such as glyphosate, stand out. Glyphosate is an example of a phosphonate. It is characterized as a post-emergence, non-selective herbicide. As for its mechanism of action, it acts as a potent inhibitor of the enzyme 5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase (EPSPs), a catalyst of the synthesis reactions of amino acids, precursors of important compounds for plants. Glyphosate in soil has a high adsorption capacity. Studies seek to understand and explain the binding mechanisms between this compound and soil, observing that the most common are the exchange of ligands with iron and aluminum oxides and the hydrogen bonds formed between glyphosate and soil humic substances. The herbicide is degraded by two pathways: one pathway produces aminomethylphosphonic acid (AMPA) and the other leads to the formation of sarcosine and glycine as intermediate metabolites. Several studies have observed an increase in soil microbiological activity with the application of glyphosate. Considering the wide use of this herbicide, the remarkable importance of the agricultural sector for the world economy, the need to protect natural resources and Environmental Chemistry as a science that studies the chemical processes that occur in the environment, this paper analyzed the frequency of articles found in the Scientific Electronic Library Online (SciELO) on glyphosate in the context of Environmental Chemistry, seeking to understand the directions of scientific research on this subject. It was observed that there have been advances in studies on glyphosate over the years, with 2019 being the year with the most publications on this theme. Regarding the authorship of the papers, most articles had multiple authorship, with 3 or more authors. It was also observed the predominance of male authorship in the papers about glyphosate in the context of Environmental Chemistry. It was possible to verify that *Química Nova* is the journal that most publishes articles with this focus. It was concluded that there is a need for greater attention to the theme in the area of Chemistry, considering that developing chemical processes that reduce or minimize the use of substances harmful to the environment should be part of the training of professionals in this area.

Keywords: Herbicide. Glyphosate. Soil. Environment. Periodical.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Saldos da balança comercial brasileira, de 2000 a 2013, em US\$ bilhões.....	05
Figura 2 - Porcentagem de vendas de agrotóxicos por estado, em 2019.	07
Figura 3 - Relação entre o consumo de ingredientes ativos, a área plantada e a taxa de consumo de agrotóxicos em Goiás, de 2009 a 2012.	08
Figura 4 - Fórmula estrutural do glifosato.	10
Figura 5 - Mecanismo de ação do glifosato.	12
Figura 6 - Sintomas fitotóxicos causados pelo glifosato em <i>Brachiaria brizantha</i> (A) e em <i>Sida cordifolia</i> (B).	13
Figura 7 - Ferrugem asiática da soja.	14
Figura 8 - Rotas de degradação do glifosato.	20
Figura 9 - Número de artigos por ano.	27
Figura 10 - Porcentagem dos trabalhos selecionados em relação ao número de autores.	32
Figura 11 - Porcentagem dos trabalhos selecionados em relação ao sexo dos autores.	33
Figura 12 - Periódico e número de publicações.....	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Vendas em toneladas do ingrediente ativo glifosato de 2010 a 2019.....	06
Tabela 2 - Artigos selecionados, periódico e ano de publicação (1997-2005).....	28
Tabela 3 - Artigos selecionados, periódico e ano de publicação (2006-2014).....	29
Tabela 4 - Artigos selecionados, periódico e ano de publicação (2015-2021).....	29

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	4
2.1. Objetivo geral	4
2.2. Objetivos específicos	4
3. REVISÃO DE LITERATURA	5
3.1. Comércio e consumo de agrotóxicos.....	5
3.2. Desenvolvimento do glifosato.....	9
3.3. Estrutura, propriedades e formulações do glifosato	9
3.4. Mecanismo de ação do glifosato na planta.....	11
3.5. Toxicidade do glifosato	15
3.6. Dinâmica do glifosato no solo.....	17
3.7. Efeitos no solo decorrentes do uso de glifosato	21
4. METODOLOGIA.....	25
4.1. Coleta dos dados	25
4.2. Tratamento dos dados.....	25
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	35
7. REFERÊNCIAS	37

1. INTRODUÇÃO

A crescente população mundial e a busca por maior produtividade agrícola levaram ao desenvolvimento do atual modelo do agronegócio brasileiro, priorizando as grandes monoculturas destinadas à exportação. As extensas lavouras, como as de cana-de-açúcar, que compõem o setor sucroalcooleiro, estão entre as que mais consomem agrotóxicos, sendo responsáveis por diversos impactos ambientais. Assim, nota-se a importante atuação da Química no desenvolvimento de produtos, como os herbicidas, e na busca pela resolução de problemáticas ambientais (ISMAEL; ROCHA, 2019; ARAÚJO; OLIVEIRA, 2017; LEAL; MARQUES, 2008).

O agronegócio contribui significativamente para a balança comercial do Brasil. Nos últimos anos tem sido possível observar a importância das exportações dos produtos do agronegócio, uma vez que o país tem elevado volume de exportações desses produtos, resultando em saldos positivos. Destaca-se o ano de 2013, quando o agronegócio fechou a série com um valor recorde de US\$ 82,9 bilhões. Em nível estadual, a importância do setor agrícola para o estado de Goiás pode ser confirmada pelos dados divulgados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). De janeiro a outubro de 2020, as exportações goianas do agronegócio contabilizaram crescimento de 24,2% na receita, em comparação ao mesmo período do ano anterior. Os municípios de Rio Verde, Cristalina e Jataí são destaques, visto que conseguiram alcançar, respectivamente, a quinta, sexta e sétima posições no ranking nacional de produção agrícola, principalmente devido às lavouras de soja, sorgo, milho, batata, cana-de-açúcar e tomate (GOIÁS, 2020; SANTOS et al., 2016).

Apesar da reconhecida importância desse segmento para o Brasil, é necessário salientar que o atual modelo do agronegócio tem ocasionado problemas socioambientais, dentre os quais destacam-se: a concentração de terras, a substituição do homem pela máquina, a exploração dos recursos naturais, a desigualdade econômica e, especialmente, o uso intensivo de agroquímicos. A aplicação desses compostos nas lavouras ocasiona diversas externalidades negativas, ou seja, impactos ambientais, sociais e sanitários, os quais afetam a saúde do trabalhador agrícola, o solo, as águas, a fauna e a população que consome os alimentos (ARAÚJO; OLIVEIRA, 2017; OLIVEIRA et al., 2018).

Em 1989 entrou em vigor uma nova lei regulamentando a fabricação e o uso dos agrotóxicos no Brasil, em substituição aos Decretos nº 24.114/1934 e nº 98.816/1990. Com isso, os agrotóxicos são regidos atualmente pela Lei nº 7.802/1989, regulamentada pelo Decreto nº 4.074/2002, sendo considerada uma das normatividades mais avançadas em relação à proteção da saúde humana e do meio ambiente. A atual legislação introduz critérios ambientais, de saúde pública e de desempenho agrônômico (ALMEIDA et al., 2017; PELAEZ; TERRA; SILVA, 2010).

O controle químico com agrotóxicos nas lavouras é um método amplamente utilizado no manejo de pragas agrícolas, as quais podem limitar o crescimento das plantas cultivadas e comprometer a capacidade de produção devido à competição por nutrientes. Destacam-se os herbicidas, agrotóxicos que atuam no controle de plantas daninhas, tais como imazapyr, diuron e glifosato, este último com utilização crescente observada a partir do desenvolvimento da soja geneticamente modificada (PASINI et al., 2017; CARVALHO; BIANCO; BIANCO, 2014; MONQUERO et al., 2008; SANTOS et al., 2007).

O glifosato, N-(fosfometil)glicina, é um herbicida de pós-emergência, ou seja, aplicado às folhas após a emergência das plantas daninhas e após o plantio da cultura, não seletivo, pertencente ao grupo químico das glicinas substituídas e que apresenta largo espectro de ação, atuando de forma eficiente no controle de plantas daninhas. É inicialmente absorvido pelas folhas e tecidos verdes e, sendo de ação sistêmica, apresenta como característica a rápida translocação para as raízes, rizomas e meristemas apicais (YAMADA; CASTRO, 2007; GALLI; MONTEZUMA, 2005; CARVALHO, 2013).

Quanto ao seu mecanismo de ação, o glifosato atua como potente inibidor da enzima 5-enolpiruvilchiquimato-3-fosfato sintase (EPSPs), catalisadora das reações de síntese de aminoácidos precursores de compostos importantes para as plantas. Os sintomas de danos causados pelo glifosato são clorose foliar e necrose. Também podem ser observados enrugamento ou malformações (YAMADA; CASTRO, 2007; MARCHI; MARCHI; GUIMARÃES, 2008).

O glifosato é caracterizado como um herbicida com elevada capacidade de adsorção, a qual impede sua degradação na solução do solo. Assim, estudos buscam reconhecer e definir os mecanismos de ligação desse herbicida com o solo (TONI; SANTANA; ZAIA, 2006; PRATA; LAVORENTI, 2000; PRATA, 2002).

A intensa aplicação desse herbicida nas áreas agrícolas revela a importância da pesquisa em relação a potenciais contaminações do solo e dos corpos hídricos, recursos indispensáveis para a sobrevivência humana e animal no planeta. Ademais, o uso frequente do glifosato pode levar à intoxicação humana e afetar negativamente os organismos terrestres e aquáticos que compõem os diversos ecossistemas. Peixes e invertebrados aquáticos são altamente afetados pelo glifosato e estudos evidenciaram que o composto também apresenta alta toxicidade para bactérias e fungos (STEFFEN; STEFFEN; ANTONIOLLI, 2011; SPADOTTO et al., 2004; AMARANTE JUNIOR et al., 2002).

Considerando a ampla utilização do herbicida glifosato, a notável importância do setor agrícola para a economia mundial, a necessidade da proteção dos recursos naturais e a Química Ambiental como ciência que estuda os processos químicos que ocorrem no meio ambiente, é de extrema relevância a realização de um levantamento de estudos e a apresentação de um panorama da aplicação do glifosato, com os objetivos de analisar a dinâmica desse composto no solo e os principais efeitos causados na microbiota edáfica, bem como discutir os potenciais impactos ambientais decorrentes de seu uso intensivo. Ademais, é importante analisar a frequência de trabalhos encontrados na Scientific Electronic Library Online (SciELO) sobre o glifosato no contexto da Química Ambiental, buscando compreender os rumos da pesquisa científica acerca desse tema e discutir a relevância dessa ciência.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Tecer ponderações a respeito da frequência de trabalhos encontrados com esse enfoque na SciELO e discutir a importância desse tema no contexto da Química Ambiental.

2.2. Objetivos específicos

- Abordar os aspectos químicos do glifosato;
- Revisar o comportamento do glifosato no solo;
- Discutir potenciais impactos ambientais decorrentes do uso de glifosato;
- Apresentar a frequência de trabalhos encontrados na SciELO acerca do glifosato, com foco na Química Ambiental;
- Abordar a respeito da importância da pesquisa e do estudo sobre o uso de glifosato para a Química e para a sociedade atual;
- Destacar a importância da análise de estudos realizados dentro do escopo da Química Ambiental.

3. REVISÃO DE LITERATURA

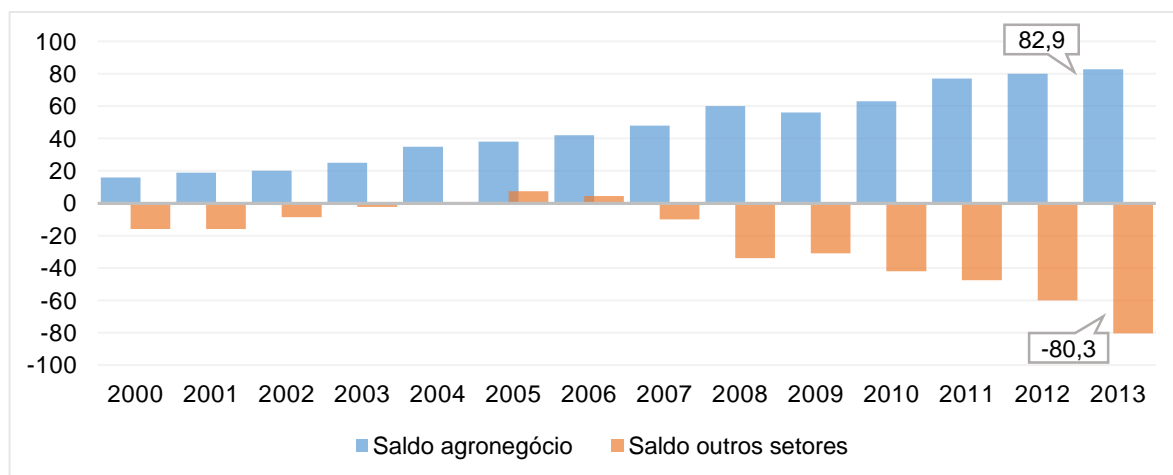
3.1. Comércio e consumo de agrotóxicos

No período de 2000 a 2013, o comércio mundial de agrotóxicos teve um aumento de aproximadamente 220%, em decorrência do crescimento da produção de commodities e o aumento das exportações da China, que se tornou o maior exportador mundial de agrotóxicos. Em contrapartida, o Brasil, tornou-se, a partir de 2012, o maior importador mundial de agrotóxicos (PELAEZ et al., 2016).

Analisando a balança comercial brasileira observa-se a importância das exportações dos produtos do agronegócio para a economia do país. Entre 2000 e 2013, o agronegócio apresentou saldos comerciais positivos e crescentes (Figura 1), alcançando um valor de US\$ 82,9 bilhões. Observa-se crescimento mais acentuado das exportações após o ano de 2004. Por outro lado, as importações dos demais setores da economia brasileira em muito superam as exportações, levando o Brasil a uma dependência das divisas decorrentes do agronegócio (SANTOS et al., 2016).

Treze empresas multinacionais controlam o mercado mundial de agrotóxicos, as quais foram responsáveis por aproximadamente 90% das vendas no ano de 2014. As maiores são Syngenta, Bayer, Basf, Dow, DuPont e Monsanto, que controlam aproximadamente 70% das vendas mundiais. No Brasil, apenas dez empresas controlam mais de 70% desse mercado e a região Sul se destaca como consumidora de agrotóxicos, sendo responsável por cerca de 30% desse consumo (PELAEZ et al., 2016; LOPES; ALBUQUERQUE, 2018; RIGOTTO; VASCONCELOS; ROCHA, 2014).

Figura 1. Saldos da balança comercial brasileira, de 2000 a 2013, em US\$ bilhões.



Fonte: BRASIL (2014).

De acordo com o boletim anual de produção, importação, exportação e vendas de agrotóxicos no Brasil, elaborado e publicado pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama), no ano de 2018, a venda total de produtos formulados químicos e bioquímicos correspondeu a 549.280,44 toneladas de ingredientes ativos. Em 2019, a venda total desses produtos correspondeu a 620.537,98 t, verificando-se um aumento de 12,97% nas vendas em relação ao ano anterior. Esse aumento expressivo nas vendas de agrotóxicos possivelmente deveu-se à grande produção agrícola nacional, pois, segundo o IBGE, a safra de 2019 obteve recorde na produção nacional de grãos (ANVISA, 2019).

Em relação às vendas por classe de uso, os herbicidas possuem destaque há anos, configurando-se como a classe mais vendida. O glifosato, por sua vez, lidera o ranking dos dez ingredientes ativos mais vendidos desde 2009. O ingrediente ativo é o agente químico, físico ou biológico que garante a eficácia dos agrotóxicos. A Tabela 1 evidencia as vendas do ingrediente ativo glifosato no período de 2010 a 2019 (ANVISA, 2019).

Tabela 1. Vendas em toneladas do ingrediente ativo glifosato de 2010 a 2019.

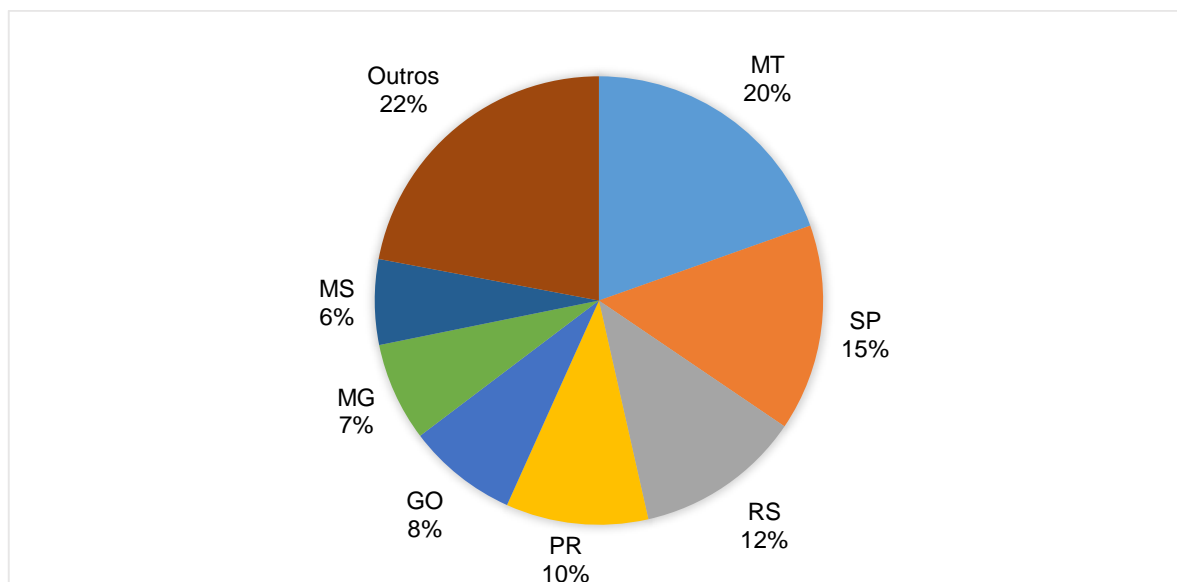
Ano	Vendas (t)
2010	134.117,29
2011	131.898,00
2012	187.777,18
2013	185.956,13
2014	194.877,84
2015	194.939,60
2016	185.602,22
2017	173.150,75
2018	195.056,02
2019	217.592,24

Fonte: ANVISA (2019)

A porcentagem de vendas de agrotóxicos por estado, em 2019 (Figura 2), evidencia a ampla comercialização e utilização desses produtos, especialmente nas regiões Sul, Centro-Oeste e Sudeste do Brasil, com destaque para os estados de Mato

Grosso (20%), São Paulo (15%), Rio Grande do Sul (12%), Paraná (10%) e Goiás (8%).

Figura 2. Porcentagem de vendas de agrotóxicos por estado, em 2019.



Fonte: ANVISA (2019).

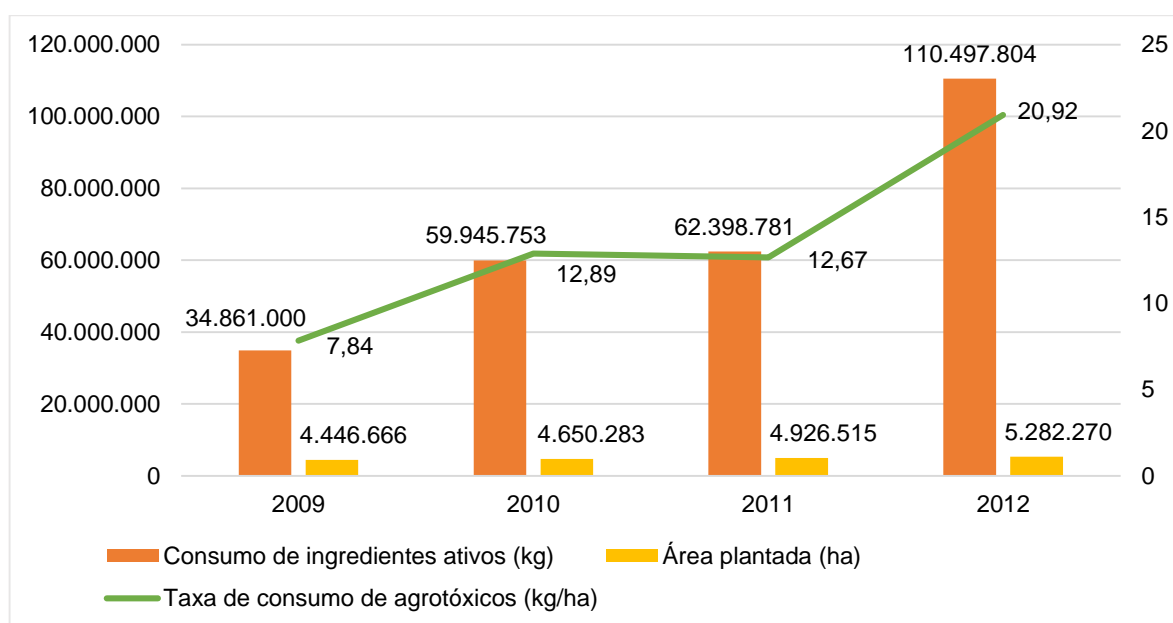
O estado do Mato Grosso tornou-se uma das regiões agrícolas mais produtivas do Brasil em 30 anos, aproximadamente. As atividades agrícolas mantiveram-se pouco importantes por muito tempo, porém, a expansão da fronteira agrícola e a colonização de áreas da região Centro-Oeste alteraram a localização das áreas de produção. Um dos objetivos era que Mato Grosso ocupasse a posição de maior produtor de grãos do país, o que parece ter sido alcançado no início do século 21, devido aos elevados índices de produção agrícola e, conseqüentemente, de vendas de agrotóxicos (DUBREUIL et al., 2005).

O estado de Goiás, por sua vez, é palco da expansão de atividades agrícolas advindas do sudeste brasileiro. Destaca-se a produção agropecuária, visto que o estado é um dos maiores produtores de grãos do país. A agricultura do local alterou-se profundamente, incorporando modernas técnicas de produção, considerando aspectos como o tipo de solo, clima e relevo da região. Assim, o agronegócio tornou-se um discurso dominante devido aos elevados índices de produtividade alcançados (CALAÇA; DIAS, 2010).

De acordo com o relatório Vigilância em Saúde de Populações Expostas a Agrotóxicos no Estado de Goiás, elaborado pelo Ministério da Saúde, desde 2007

observa-se acentuado aumento da utilização de agrotóxicos na produção agrícola estadual. Nesse mesmo ano, o consumo foi de 25.247 t, em uma área plantada de 3.955.025 hectares, para 110.497,80 t de agrotóxicos, em uma área de 5.282.270 hectares, em 2012. Observa-se um aumento de 337% no consumo de agrotóxicos e um aumento de apenas 33% de hectares de áreas plantadas no período de 2007 a 2012. Na Figura 3 observa-se o consumo de ingredientes ativos, a área plantada e a taxa de consumo de agrotóxicos por hectare no estado de Goiás, entre 2009 e 2012 (TAVARES et al., 2020; BRASIL, 2016).

Figura 3. Relação entre o consumo de ingredientes ativos, a área plantada e a taxa de consumo de agrotóxicos em Goiás, de 2009 a 2012.



Fonte: BRASIL (2016).

Vários estudos associam o consumo de agrotóxicos e o uso de organismos geneticamente modificados (OGMs) na agricultura. Nos Estados Unidos, segundo Benbrook (2012), entre 1996 e 2011, o uso de OGM elevou em 183.000 t a utilização de agrotóxicos. A utilização do herbicida glifosato na cultura da soja teve um aumento de 2.500 t para 30.000 t por ano, no período de 1995 a 2002 (ALMEIDA et al., 2017).

No Brasil, os OGM foram inicialmente introduzidos de modo ilegal, no fim da década de 1990. A comercialização desses organismos foi autorizada apenas em 2003. Em 2014, 42,2 milhões de hectares foram plantados com OGMs, um aumento muito expressivo em comparação aos 3 milhões de hectares plantados no ano de

2003. Entre os OGMs cultivados no país, a soja é a principal commodity, sendo 90% transgênica, segundo o International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications (ISAAA) (ALMEIDA et al., 2017).

3.2. Desenvolvimento do glifosato

O herbicida glifosato é o ingrediente ativo mais utilizado em formulações de agrotóxicos, pois é altamente eficaz no controle de plantas daninhas na agricultura, ampliando a produtividade das lavouras. No entanto, o uso excessivo desse composto também traz preocupações, pois pode afetar os componentes bióticos do ecossistema, especialmente a microbiota do solo (ALMEIDA; RODRIGUES; IMPERADOR, 2019; MALTY; SIQUEIRA; MOREIRA, 2006).

A molécula de glifosato, N-(fosfonometil)glicina, foi sintetizada em 1950 pelo químico Henri Martin, da empresa farmacêutica Cilag. Entretanto, somente uma década mais tarde, após a venda da empresa Cilag para uma distribuidora de produtos químicos, a molécula foi alvo de interesse por pesquisadores da Monsanto. Na década de 1970, o químico John Franz, da Monsanto, desenvolveu herbicidas à base de glifosato. Alguns anos mais tarde, herbicidas com esse princípio ativo passaram a ser produzidos em escala industrial, inicialmente destinados à produção de borracha na Malásia e à cultura de trigo no Reino Unido (ABRASCO, 2019; RODRIGUES, 2016).

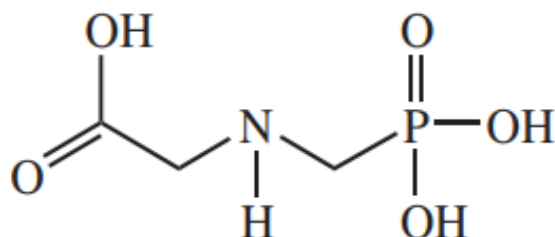
Nos anos 1990, após o desenvolvimento das sementes transgênicas resistentes ao glifosato, as vendas do herbicida tiveram aumento expressivo. A soja, o milho e o algodão geneticamente modificados permitiram a ampliação do uso do glifosato nas lavouras, elevando também a produtividade e a rentabilidade. Entretanto, a toxicidade do glifosato para a saúde humana tem gerado questionamentos entre os pesquisadores. Já em 2018, a Bayer concluiu a compra da Monsanto por US\$ 63 bilhões, sendo a maior compra já feita pela empresa química e farmacêutica alemã, levando ao surgimento da maior companhia de pesticidas (ABRASCO, 2019).

3.3. Estrutura, propriedades e formulações do glifosato

O glifosato, de fórmula molecular $C_3H_8NO_5P$, é um exemplo de fosfonato, uma classe de compostos que apresentam estruturas similares às dos organofosforados. No glifosato, um dos oxigênios ligados ao fósforo é substituído pelo radical orgânico metileno ($-CH_2$) que, por sua vez, está ligado ao aminoácido glicina. É uma molécula

polar, que apresenta três grupos funcionais: carboxila, amino e fosfonato (Figura 4) (BAIRD; CANN, 2011; DÖRR, 2015).

Figura 4. Fórmula estrutural do glifosato.



Fonte: COUTINHO; MAZO (2005).

O glifosato em sua forma pura é um pó branco, cristalino e inodoro. Apresenta ponto de fusão de 184,5 °C e não é inflamável, tampouco explosivo. O glifosato e seus sais são muito solúveis em água e quase insolúveis em solventes orgânicos comuns (acetona e etanol, entre outros). O composto é bastante estável em presença de luz, mesmo em temperaturas acima de 60 °C. Possui capacidade de atuar como ácido fraco e base fraca, o que o caracteriza como zwitterion. Ademais, suas características químicas dependem diretamente do pH, devido à presença de quatro hidrogênios ionizáveis em seus grupos funcionais (AMARANTE JUNIOR et al., 2002; DÖRR, 2015; SOUZA FILHO, 2011).

A patente do glifosato foi extinta em 2000, sendo inicialmente vendido pela Monsanto como Roundup®. Na atualidade, há diversas formulações comerciais do glifosato em diferentes países, as quais atuam nas plantas sob o mesmo mecanismo de ação. De acordo com a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa), o ingrediente ativo glifosato atualmente é formulado com diferentes sais, como o sal de isopropilamina, sal de potássio, sal de amônio e, ainda, sal de dimetilamina (DÖRR, 2015; MORAES; ROSSI, 2010).

As formulações comerciais do glifosato possuem composições químicas variadas para as diferentes necessidades de aplicação. Por consequência, são encontradas formulações com graus de toxicidade diversos, sendo considerado, por Folmar et al. (1979), de maior toxicidade o produto formulado, em comparação ao ingrediente ativo puro. Algumas formulações comerciais à base do ingrediente ativo

glifosato são: Glifosato AKB 480, Roundup® Original, Roundup® Transorb e Roundup® WG, em que são constituídas pelo ingrediente ativo glifosato e substâncias inertes, como os surfactantes (RODRIGUES, 2016).

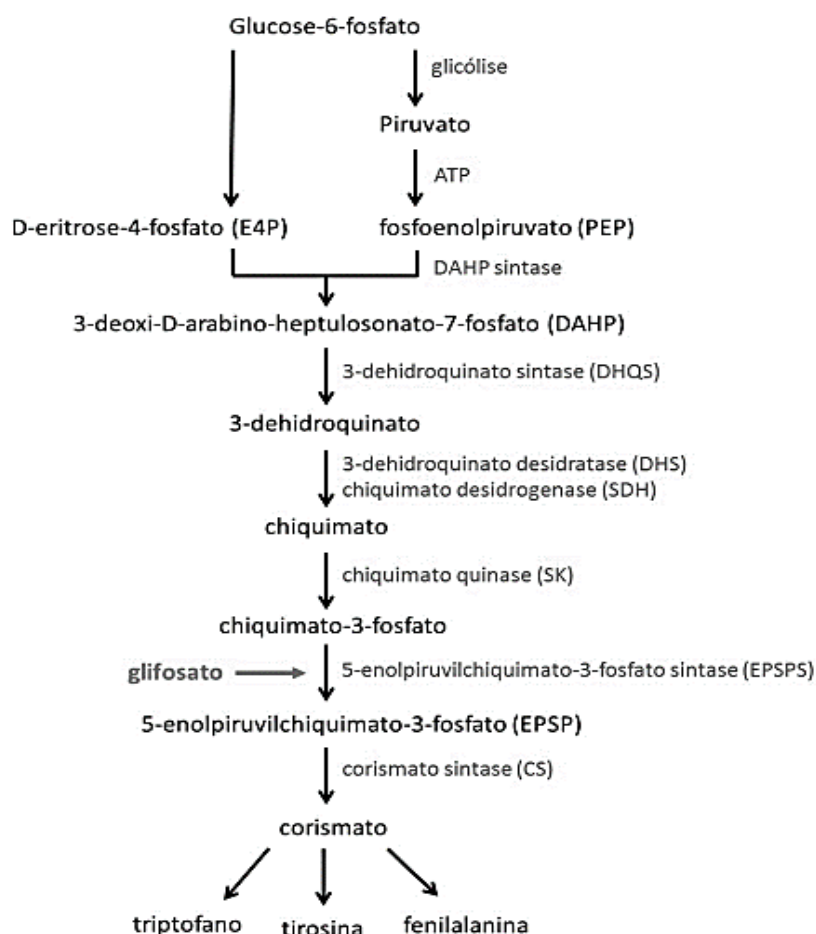
A formulação à base de glifosato mais utilizada contém sal de isopropilamina, o surfactante polioxietileno amina (POEA) e água. As substâncias inertes presentes nas formulações comerciais, como os surfactantes, podem modificar as propriedades toxicológicas do produto e apresentar toxicidade mais elevada que o próprio princípio ativo, levando a uma preocupação socioambiental, a qual relaciona-se diretamente com a Química Ambiental (ALMEIDA; RODRIGUES; IMPERADOR, 2019; RODRIGUES, 2016).

3.4. Mecanismo de ação do glifosato na planta

O glifosato é classificado como não seletivo e de ação sistêmica. Sendo de ação sistêmica, após a penetração pela cutícula das folhas, o glifosato é translocado preferencialmente pelo floema e se move para o sistema radicular e parte aérea da planta. O composto inibe o crescimento de raízes, rizomas e da parte aérea. Tanto a absorção como a translocação são influenciadas por diferentes fatores: espécie e idade das plantas, condições ambientais, concentração do herbicida, surfactante utilizado e método de aplicação (GALLI; MONTEZUMA, 2005; MARCHI; MARCHI; GUIMARÃES, 2008; YAMADA; CASTRO, 2007).

Quanto ao modo de atuação (Figura 5), o glifosato é um potente inibidor da enzima que catalisa a síntese de aminoácidos aromáticos, como a fenilalanina, triptofano e tirosina. Ele tem como sítio de ação a enzima 5-enolpiruvilchiquimato-3-fosfato sintase (EPSPs), a qual catalisa o penúltimo passo na via do chiquimato, levando à formação de 5-enolpiruvilchiquimato-3-fosfato (EPSP). A inibição se dá por competição com o substrato fosfoenolpiruvato (PEP), impedindo a transformação do chiquimato em corismato. Assim, a fitotoxicidade comumente resulta do acúmulo de chiquimato na planta e há perda de aminoácidos aromáticos necessários para a produção de proteínas essenciais para o crescimento das plantas, visto que tais proteínas formam outros compostos, como hormônios e flavonoides (DÖRR, 2015; FUNKE et al., 2006; MOREIRA et al., 2007; ROMAN et al., 2005; HELANDER; SALONIEMI; SAIKKONEN, 2012).

Figura 5. Mecanismo de ação do glifosato.



Fonte: DÖRR (2015).

Os produtos da via do chiquimato são os aminoácidos aromáticos já citados, bem como diversos metabólitos secundários: flavonoides, pigmentos (antocianinas), fitormônios de crescimento (auxinas), moléculas estruturais vitais (lignina) e moléculas de defesa da planta (fitoalexinas e alcaloides) (DÖRR, 2015; HERRMANN; WEAVER, 1999).

Após a aplicação, os sintomas aparecem a partir do terceiro ao quinto dia (Figura 6). Observa-se clorose foliar, interrupção do crescimento da planta e, posteriormente, necrose. Outros danos podem ser causados pela aplicação, tais como enrugamento ou malformações. A morte da planta ocorre em dias ou semanas. O glifosato é eficaz para a morte completa de várias plantas daninhas anuais e perenes (MARCHI; MARCHI; GUIMARÃES, 2008; YAMADA; CASTRO, 2007).

Figura 6. Sintomas fitotóxicos causados pelo glifosato em *Brachiaria brizantha* (A) e em *Sida cordifolia* (B).



Fonte: MARCHI; MARCHI; GUIMARÃES (2008).

Silva (2016) avaliou o desempenho dos herbicidas indaziflam e glifosato na cultura do café conilon por meio do controle de plantas daninhas e o desenvolvimento da cultura. Observou-se que o glifosato apresentou maior eficácia no controle, seguido da mistura indaziflam e glifosato e, finalmente, o herbicida indaziflam. Em relação à clorofila, observou-se que as plantas que receberam o glifosato reduziram a intensidade do verde, o que possivelmente deve-se à inibição da síntese dos aminoácidos essenciais.

Em estudo da eficácia da formulação em sal potássico do glifosato comparada ao sulfosato e ao sal amínico do glifosato, considerados padrões para o controle de grama-seda em pós-emergência, observou-se que o controle da planta daninha consolidou-se no 28º dia após a aplicação, atingindo porcentagens em torno de 90% para a maioria dos tratamentos. A dosagem mais elevada de glifosato potássico proporcionou melhor controle aos 28 dias após a aplicação e menor rebrotação da planta daninha. No entanto, outros fatores podem interferir no controle de plantas daninhas, tais como a temperatura, o tamanho das gotas e o volume de aplicação (MARTINI et al., 2002).

Utilizando o produto comercial à base de glifosato Roundup® Transorb no controle de ferrugem asiática da soja (Figura 7), um estudo realizado por Soares et al. (2008) evidenciou que a aplicação de glifosato em plantas tem efeito sobre a ferrugem

da soja quando realizada preventivamente, no entanto, com reduzido período de proteção. Ademais, quando comparados ao fungicida tebuconazole, a toxicidade e o período de proteção dos tratamentos com glifosato apresentaram-se inferiores.

Figura 7. Ferrugem asiática da soja.



Fonte: EMBRAPA (2018).

Em estudo com o objetivo de avaliar a resistência do capim pé-de-galinha ao glifosato, em lavouras de soja transgênica, os resultados indicaram que o avanço do estágio de desenvolvimento da espécie levou à menor sensibilidade ao herbicida. Todavia, a aplicação do glifosato em estágio avançado de crescimento das plantas não pode ser considerada o único fator das falhas de controle de capim pé-de-galinha observadas, pois outros aspectos podem estar envolvidos, como dose do herbicida e tecnologia de aplicação (ULGUIM et al., 2013).

Do mesmo modo que em outras culturas perenes, tais como café e citros, a trapoeraba encontrou nas lavouras de mamão condições favoráveis ao seu desenvolvimento, especialmente nas lavouras do Espírito Santo. Esse fato é resultado, possivelmente, da eliminação da interferência de outras plantas daninhas por meio da aplicação de glifosato, visto que a trapoeraba é tolerante a esse herbicida. Embora o glifosato seja ineficiente no controle de trapoerabas, esse herbicida é bastante utilizado nas lavouras de mamão, porquanto apresenta eficácia no controle

de diversas plantas daninhas, como as Poaceae (RAMOS; DURIGAN, 1996; RONCHI et al., 2002; RONCHI et al., 2008).

3.5. Toxicidade do glifosato

Apesar da reduzida toxicidade aguda do glifosato, alguns estudos sugerem a existência de defeitos crônicos em determinadas espécies de animais, quando o herbicida é administrado em doses elevadas e por um longo período. Foram observados sintomas como perda de peso, descarga nasal e morte de matrizes grávidas, além de desordens digestivas, em estudos feitos com ratos (AMARANTE JUNIOR et al., 2002).

O efeito do glifosato no organismo humano é cumulativo e a intoxicação varia com o tempo de exposição ao composto. Os sintomas causados podem ser irritações na pele e nos olhos, náusea, tontura, edema pulmonar, queda da pressão sanguínea, alergia, dor abdominal, perda de líquido gastrointestinal, vômito, desmaio, danos ao sistema renal, além de destruição de glóbulos vermelhos no sangue (ANDRIOLI, 2005; MALLMANN, 2009).

Estudos realizados por Kaczewer (2002) evidenciaram efeitos adversos do glifosato à saúde: toxicidade subaguda (lesões em glândulas salivares), toxicidade crônica (inflamação gástrica), danos genéticos (em células sanguíneas humanas), transtornos reprodutivos (redução de espermatozoides em ratos e elevação da frequência de anomalias espermáticas em coelhos) e carcinogênese, com a elevação da frequência de tumores hepáticos em ratos e de câncer tireoide em ratas (MALLMANN, 2009).

Os peixes e os invertebrados aquáticos são os mais sensíveis ao glifosato, o qual também apresenta efeitos adversos para bactérias e fungos. Ainda, o herbicida pode afetar negativamente alguns invertebrados do solo, incluindo ácaros (AMARANTE JUNIOR et al., 2002).

Lins, Santos e Gonçalves (2007) observaram uma redução na população de Collembola, quando submetida à ação dos herbicidas glifosato e 2,4-D (ácido 2,4 diclorofenoxiacético) na cultura do milho. No entanto, Glaeser (2008) realizou, na mesma área, uma avaliação da influência dos herbicidas glifosato e glifosato com 2,4-D sobre a população de ácaros edáficos em sistemas de plantio direto e plantio convencional, concluindo que, de modo geral, o uso desses herbicidas provocou um

aumento na quantidade de Acari. Acari e Collembola são os grupos mais abundantes da mesofauna edáfica.

Um estudo realizado por Silva, Barp e Armiliato (2017) teve como objetivo avaliar os efeitos de toxicidade do herbicida glifosato sobre a morfologia nos ovários da espécie *Danio rerio* (peixe-zebra). Os resultados apresentados possibilitam inferir que efeitos subletais foram identificados nos ovários das fêmeas de *D. rerio*, os quais podem comprometer a reprodução de peixes. O estudo também evidenciou a importância da investigação acerca da toxicidade do glifosato sobre a reprodução feminina, utilizando ovários de peixe, uma vez que essa linha de investigação é conduzida principalmente utilizando ratos.

Batista et al. (2019) realizaram um estudo para verificar os efeitos de herbicida à base de glifosato sobre a sobrevivência e massa corporal de minhocas, do qual os resultados sugeriram que esse herbicida altera o equilíbrio termodinâmico do solo e reduz a massa corporal e a sobrevivência das minhocas. Nesse contexto, a redução na massa corporal das minhocas possivelmente é consequência de danos em nível alimentar e locomotor, devido à exposição ao glifosato. Tem-se demonstrado que a exposição de minhocas a agrotóxicos reduz a ingestão de matéria orgânica, bem como a escavação desses animais. Considerando a importância ecológica das minhocas para o ambiente edáfico, é primordial atenção e prudência nas dosagens aplicadas e na frequência da utilização desses compostos (GAUPP-BERGHAUSEN et al., 2015; TU et al., 2011).

Diversos estudos relatam que a exposição de minhocas aos agrotóxicos, pode prejudicar os níveis de suas enzimas antioxidantes e modificar seu comportamento e sua morfologia, comprometendo sua reprodução e/ou sobrevivência. Estudo de Batista et al. (2017) objetivou verificar o efeito crônico do herbicida glifosato sobre a taxa de mortalidade e reprodução de oligoquetas da espécie *Eisenia andrei* expostas a diferentes dosagens desse composto. Observou-se que a exposição ao herbicida à base de glifosato afetou a sobrevivência de oligoquetas e as concentrações mais elevadas e tempos mais longos de contaminação resultaram em maior taxa de mortalidade. Os resultados indicam riscos à fauna edáfica e às características físicas do solo, considerando que as minhocas são essenciais para a manutenção do equilíbrio ambiental.

3.6. Dinâmica do glifosato no solo

O solo é um sistema vivo, complexo, dinâmico, heterogêneo e em constante transformação, composto por diversas associações microbianas. A adição de herbicidas pode perturbar o equilíbrio microbiano, uma vez que essas associações são sensíveis a alterações químicas e físicas. O uso excessivo dos agroquímicos, especialmente o herbicida glifosato, amplamente popular, tornou-se uma preocupação socioambiental, com ênfase na compreensão dos efeitos causados por esses compostos nos processos biológicos do solo (ANDRIGHETTI et al., 2014; SIQUEIRA; MOREIRA, 2006; ZABALOY; GARLAND; GÓMEZ, 2008).

Três fases compõem o solo: sólida, líquida e gasosa. A fase sólida constitui-se de matéria inorgânica e matéria orgânica, formadas por argilas minerais e produtos da decomposição de seres vivos, respectivamente. No entanto, a composição da porção inorgânica varia de acordo com o estágio de desenvolvimento do solo. Ademais, a fase líquida do solo ocupa o espaço poroso deste, constituindo a solução do solo. A composição dessa fase do solo é resultado de inúmeras reações entre as outras fases que o constituem. Portanto, a solução do solo contém água, substâncias minerais e orgânicas, bem como gases dissolvidos, em diferentes concentrações (LUCHESE; FAVERO; LENZI, 2002; TONI; SANTANA; ZAIA, 2006).

Após a molécula de um herbicida atingir o solo, pode passar pelos processos de degradação e/ou adsorção. Os herbicidas adsorvidos e seus resíduos degradados, podem ter suas moléculas absorvidas pelas plantas ou lixiviadas para outras camadas do solo, em que podem atingir cursos subterrâneos de água ou permanecer como resíduos ligados. Com a adsorção, a concentração dos herbicidas na fração solubilizada do solo é reduzida e, como consequência, parte de sua ação potencial é removida. Observa-se o resultado pela redução da disponibilidade biológica, pela elevação da velocidade de degradação química ou, meramente, pelo retardamento do movimento de lixiviação (JAVARONI; LANDGRAF; REZENDE, 1999; PRATA; LAVORENTI, 2000; TONI; SANTANA; ZAIA, 2006).

No entanto, os efeitos observados relacionam-se diretamente com o ambiente químico e com a natureza do adsorvente e do adsorbato. Umidade, pH, capacidade de troca catiônica, temperatura, matéria orgânica e outros parâmetros podem influenciar os processos de degradação e retenção dos herbicidas pelo solo. Ainda, cada herbicida possui um mecanismo de adsorção e degradação, a depender de suas

propriedades químicas (JAVARONI; LANDGRAF; REZENDE, 1999; PRATA; LAVORENTI, 2000; TONI; SANTANA; ZAIA, 2006).

O glifosato no solo possui elevada capacidade de adsorção. Estudos buscam compreender e explicar os mecanismos de ligação entre esse composto e o solo, observando-se que os mais comuns são a troca de ligantes com os óxidos de ferro e alumínio e as ligações de hidrogênio formadas entre o glifosato e as substâncias húmicas do solo (FENG; THOMPSON, 1990; TONI; SANTANA; ZAIA, 2006).

O grupo fosfonato presente na estrutura do glifosato pode formar complexos fortes com metais. Assim, os processos de adsorção, fotodegradação e biodegradação dos fosfonatos modificam-se pela presença de íons metálicos, em razão da formação de complexos. Além do grupo fosfonato, a estrutura do herbicida apresenta os grupos funcionais amino e carboxila, os quais podem se coordenar com íons metálicos. O glifosato possui a habilidade de se coordenar como um ligante tridentado, o que o coloca em destaque como herbicida (COUTINHO; MAZO, 2005).

Os complexos de cobre(II) com glifosato são largamente estudados, pois esse íon é importante para as plantas e também porque a concentração desse íon no solo e na água tem aumentado devido à utilização de fungicidas e fertilizantes e ao descarte inadequado de esgotos e outros resíduos. Em baixas concentrações, o cobre(II) é essencial, no entanto, em concentrações elevadas, é tóxico. Na cultura de soja, por exemplo, a carência de íons cobre ocasiona necrose das folhas, enquanto o excesso causa clorose (COUTINHO; MAZO, 2005).

Subramaniam e Hoggard (1988, apud COUTINHO; MAZO, 2005) sintetizaram o complexo cristalino azul $[\text{Cu}(\text{HL})\text{H}_2\text{O}]\cdot 0,4\text{CuO}$, misturando quantidades equimolares de glifosato e Cu(II). O complexo foi caracterizado por difração de raios-X. Sundaram e Sundaram (1997, apud COUTINHO; MAZO, 2005), por sua vez, sintetizaram os complexos de zinco(II) e de manganês(II). Kobylecka, Ptaszynski e Zwolinska (2000, apud COUTINHO; MAZO, 2005) estudaram os complexos de cádmio(II) e chumbo(II) com o herbicida, bem como o complexo de zinco(II), através de análise térmica, espectroscopia no infravermelho e difração de Raios-X. Essas pesquisas, como afirmam Coutinho e Mazo (2005), podem ser justificadas pelo interesse na compreensão do comportamento desse herbicida no solo e nas plantas.

Em estudo realizado por Prata (2002), analisou-se a influência da matéria orgânica na sorção e dessorção do glifosato, em amostras de três diferentes solos

(nitossolo vermelho eutroférico, latossolo amarelo ácrico e gleissolo). Foi verificado que a sorção desse herbicida relaciona-se principalmente com a porção mineral desses solos, ou seja, a matéria orgânica apresenta papel secundário nesse processo. Verificou-se, ainda, que a maior parte do glifosato permaneceu nos solos como resíduo-ligado, isto é, não retornou à solução do solo, tornando-se indisponível para a absorção pelas plantas.

Estudos de Piccolo et al. (1994, apud PRATA, 2002) e de Gerritse, Beltran e Hernandez (1996, apud PRATA, 2002) observaram o efeito dos óxidos de ferro e alumínio, principais óxido presentes no solo, na elevada sorção do glifosato. Os autores supuseram que a troca de ligantes estaria atuando na manifestação de um mecanismo de ligação mais estável, como a ligação covalente. Adicionalmente, a sorção do glifosato em substâncias húmicas foi estudada por Piccolo, Celano e Conte (1996, apud PRATA, 2002), em que evidenciou-se a formação de ligações de hidrogênio com as substâncias húmicas do solo. Para os autores, como a molécula do glifosato possui grupos que podem servir como doadores e receptores de prótons e as substâncias húmicas também possuem grupos funcionais contendo oxigênio, as ligações de hidrogênio podem ser um mecanismo de ligação.

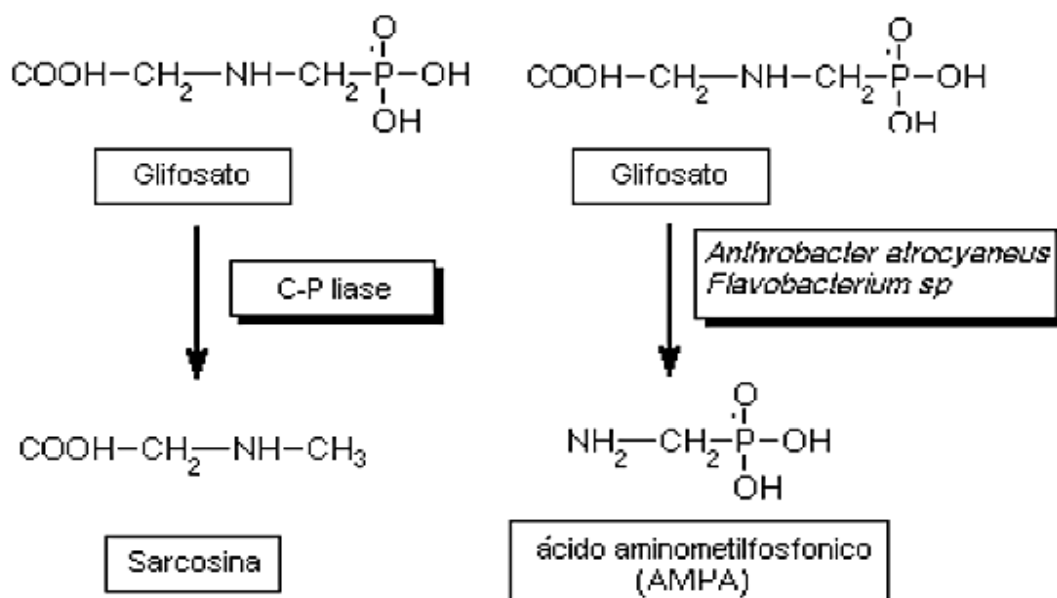
A degradação de pesticidas, por sua vez, consiste na transformação desses produtos em outros compostos menos tóxicos, dióxido de carbono e água. Esse processo pode ser realizado por via química, via biológica ou, ainda, pela combinação de ambas. A degradação microbiana é a via mais importante, visto que os microrganismos desempenham papel fundamental no comportamento dos pesticidas no ambiente, devido à capacidade de metabolizar esses compostos, por meio de suas enzimas, e transformá-los em energia e nutrientes, que contribuem para a sobrevivência desses microrganismos (ARAÚJO, 2002).

Vários microrganismos podem degradar o glifosato no solo, no entanto, as bactérias possuem destaque na biodegradação desse composto (FORLANI et al., 1999, apud DÖRR, 2015). Rueppel, Brightwell e Schaefer (1977, apud DÖRR, 2015) e Strange-Hansen et al. (2004, apud DÖRR, 2015) afirmaram que a degradação do glifosato no solo é um processo microbiológico, uma vez que em solo estéril esse fato quase não foi observado. Todavia, estudos de Barrett e McBride (2005, apud DÖRR, 2015) evidenciaram a degradação de glifosato e seu principal metabólito, ácido

aminometilfosfônico (AMPA), em condições abióticas: em birnessita, um óxido de manganês presente em solos.

O glifosato é degradado por duas vias (Figura 8). Uma via produz o AMPA e a outra leva à formação de sarcosina e glicina como metabólitos intermediários. Na via do AMPA há produção de AMPA e glioxilato. Posteriormente, fosfato inorgânico e metilamina são produzidos, por meio do AMPA. Finalmente, a metilamina é mineralizada em dióxido de carbono e amônio e o glioxilato entra na via do glioxilato, para ser metabolizado. Na via da sarcosina, há produção de fosfato e sarcosina. Esta, por sua vez, é degradada em glicina e formaldeído por meio de ação enzimática. O formaldeído entra na via de transferência de carbono e a glicina é metabolizada a dióxido de carbono e amônio (JACOB et al., 1988; BORGGAARD; GIMSING, 2008; DICK; QUINN, 1995; KISHORE; JACOB, 1987; DÖRR, 2015).

Figura 8. Rotas de degradação do glifosato.



Fonte: AMARANTE JUNIOR et al. (2002).

O herbicida no solo torna-se fonte imediata de carbono para os microrganismos. Inicialmente, de acordo com diferentes herbicidas, ocorre uma pequena degradação. Nessa fase há uma adaptação dos microrganismos, os quais produzem enzimas essenciais para degradar o novo substrato. Posteriormente, a população microbiana se intensifica, acelerando o processo de decomposição dos substratos. Vários pesquisadores constataram rápida degradação do glifosato quando

empregado no campo. Wardle e Parkinson (1990, apud ARAÚJO, 2002) analisaram o impacto de diferentes concentrações de glifosato sobre a microbiota do solo e constataram um aumento temporário no número de bactérias (SOUZA, 1994; ARAÚJO, 2002).

A variação da degradação entre os diferentes tipos de solos possivelmente relaciona-se com a atividade microbiana ou a capacidade de adsorção do glifosato ao solo, que regula a disponibilidade para a degradação no ambiente. Lonsjo et al. (1980, apud SOUZA et al., 1996) demonstraram que a degradação do glifosato em diferentes solos relaciona-se diretamente à taxa de respiração do solo (DÖRR, 2015; ARAÚJO, 2002; SOUZA et al., 1996).

O tempo de meia vida ($t_{1/2}$) dos herbicidas no solo é um indicador do tempo suficiente para que 50% de todo o produto aplicado seja degradado. Estudos evidenciam que o $t_{1/2}$ do glifosato depende das características do solo. Geralmente a meia-vida do glifosato é de aproximadamente 32 dias, resultado constatado em diversos estudos realizados em diferentes localidades (MALLMANN, 2009; GIESY; DOBSON; SOLOMON, 2000).

3.7. Efeitos no solo decorrentes do uso de glifosato

Um estudo foi realizado por Araújo et al. (2003) acerca da biodegradação do glifosato em amostras de solos brasileiros. Foram coletadas amostras de argissolo vermelho-amarelo em área cultivada com pêssego, com e sem histórico de aplicação do glifosato. Coletaram-se, ainda, amostras de latossolo vermelho, de textura argilosa, com e sem histórico de aplicação. Para a análise foi utilizada a cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) e os resultados obtidos sugeriram que a microbiota do solo utilizou glifosato como fonte de carbono para o seu metabolismo, proporcionando aumento na respiração microbiana. Os solos com aplicação imediata de glifosato tiveram maior produção de dióxido de carbono, fato relacionado com a degradação do herbicida pelos microrganismos (WARDLE; PARKINSON, 1990, apud ARAÚJO et al., 2003). Ademais, verificou-se redução da quantidade de glifosato e o surgimento de seu metabólito AMPA, primeiro composto produzido na degradação microbiana. A meia-vida do glifosato foi menor nas amostras de argissolo (RUEPPEL; BRIGHTWELL; SCHAEFER, 1977, apud ARAÚJO et al., 2003).

Ainda de acordo com Araújo et al. (2003), as amostras de solos com histórico de aplicação apresentaram liberação de dióxido de carbono superiores às observadas para as amostras sem histórico de aplicação, evidenciando que os microrganismos presentes naqueles solos estão mais adaptados à presença de glifosato e possuem maior capacidade de biodegradação.

Uma avaliação do efeito do glifosato na microbiota de argissolo vermelho distrófico arênico, realizada por Castro Júnior, Selbach e Záchiaayub (2006), evidenciou que a adição do herbicida não exerceu efeito negativo na população de bactérias e fungos. Não houve diferença significativa entre o número de microrganismos quantificados no solo com aplicação do produto puro e do produto comercial. Ainda de acordo com os resultados obtidos, houve aumento da biomassa no decorrer do experimento, sugerindo que o glifosato pode ser utilizado como fonte de nutrientes por certos microrganismos.

Andrighetti et al. (2014), avaliaram a biodegradação de glifosato pela microbiota de solos classificados, de acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), como latossolo bruno alumínico câmbico, cultivados com macieira, com diferentes históricos de aplicação do herbicida. O método utilizado na pesquisa foi descrito por Bartha e Pramer (1965), consistindo na quantificação de dióxido de carbono desprendido na respiração microbiana do solo. Além disso, as concentrações de glifosato e AMPA foram avaliadas por CLAE. Os resultados mostraram que, embora o glifosato tenha possivelmente afetado de forma negativa a multiplicação de bactérias dos solos, o composto foi degradado pela microbiota, evidenciando que a microbiota desses solos é adaptada à presença desse herbicida. Ademais, o principal metabólito da degradação do glifosato foi o AMPA.

Em estudo realizado por Castro Júnior (2006), objetivou-se analisar o impacto decorrente da utilização do herbicida glifosato à microbiota do solo. Foram utilizadas amostras de argissolo vermelho distrófico arênico e a metodologia empregada foi descrita por Alef e Nannipieri (1995): a quantificação de dióxido de carbono desprendido na respiração microbiana do solo. O trabalho obteve como resultado a inobservância de efeitos negativos na população de bactérias pela adição de glifosato, uma vez que não observou-se inibição do crescimento.

Objetivando-se analisar o efeito do glifosato na microbiota do solo, estudo de Dallmann et al. (2010) constatou que a cultura de soja geneticamente modificada

associada à aplicação do glifosato reduziu a microbiota fúngica do solo, mas não influenciou significativamente a contagem bacteriana. No entanto, o uso de glifosato em concentrações mais elevadas ocasionou maior liberação de dióxido de carbono e redução da biomassa.

Em estudo de Antonioli et al. (2013), ao analisar o efeito do glifosato sobre a população de Collembola no solo, concluiu-se que o herbicida não influenciou negativamente essa população. Entretanto, resultados diferentes foram obtidos por Renaud et al. (2004), em que a aplicação associada de glifosato e herbicidas pré-emergentes, como o diuron, afetou negativamente a população de Collembola, reduzindo os valores de abundância total, diversidade e riqueza.

Bohm, Castilhos e Rombaldi (2010) avaliaram métodos de controle de plantas daninhas, incluindo herbicidas, sobre a mesofauna e atividade microbiana de solo classificado como planossolo háplico eutrófico solódico, o qual tem como origem sedimentos derivados de granito, cultivado com soja. A relação entre ácaros e colêmbolos pode ser utilizada como indicador de qualidade físico-química e biológica do solo, ou seja, quanto maior essa relação, melhor a qualidade do solo. Considerando-se apenas essa variável, observou-se que o maior impacto observado ocorreu nos tratamentos com os herbicidas glifosato e imazetapir, os quais influenciaram negativamente a estabilidade da mesofauna. Entretanto, proporcionaram maior atividade microbiana do solo.

Observa-se em vários trabalhos a ampliação de atividade microbiológica do solo com a aplicação do glifosato e é sabido, ainda, que diversos microrganismos utilizam a molécula desse herbicida como fonte de fósforo, em situações de ausência desse elemento no meio. Grossbard (1985, apud GALLI; MONTEZUMA, 2005) enfatizou que a utilização desse composto não oferece riscos à fertilidade do solo, estudo de Giesy, Dobson e Solomon (2000, apud GALLI; MONTEZUMA, 2005) concluiu que o glifosato utilizado nas doses recomendadas não causa danos sobre a microbiologia do solo e trabalho de Haney et al., (2000, apud GALLI; MONTEZUMA, 2005) evidenciou a degradação do produto sem impacto negativo sobre a comunidade microbiana do solo (GALLI; MONTEZUMA, 2005; LIU et al., 1991; PIPKE; SCHULZ; AMRHEIN, 1987).

Estudo de Santos et al. (2018) teve como escopo a análise do comportamento de minhocas em solo de cultivo de cacau coletado em Medicilândia, no Pará, com

aplicação contínua de glifosato, mas sem aplicação nos meses de antecedência ao estudo. Observou-se que o solo investigado afetou o comportamento das minhocas utilizadas como bioindicador. Concluiu-se que o glifosato pode alterar o comportamento dos animais devido à persistência no solo de seus subprodutos e observou-se que os efeitos do glifosato ainda podem ser sentidos e constatados após longo período de aplicação.

4. METODOLOGIA

4.1. Coleta dos dados

A fim de verificar como o tema tem sido estudado ao longo dos anos, realizou-se um levantamento bibliográfico dos trabalhos publicados no principal acervo de revistas científicas brasileiras, utilizando a palavra-chave glifosato na busca e destacando o enfoque central da revisão, sob a perspectiva da Química.

Os trabalhos foram coletados da SciELO, visto que é a biblioteca eletrônica mais completa em periódicos científicos. Ela teve seu projeto iniciado em 1997 e foi desenvolvida em parceria entre a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) e o Centro Latino-Americano e do Caribe de Informação em Ciências da Saúde (BIREME). Essa plataforma contribui para o amplo acesso de temas demasiadamente relevantes e para a visibilidade da literatura científica. Além disso, as publicações são avaliadas por comitê de profissionais experientes e representantes das grandes áreas do conhecimento, tais como: ciências agrárias, ciências biológicas, ciências exatas, linguística, letras e arte (HAYASHI et al., 2008; TAQUETTE; MINAYO, 2016).

A coleta de dados foi realizada no período de janeiro de 2021 a maio de 2021. Foram considerados os seguintes aspectos na análise dos dados: os autores da produção científica, o ano de publicação, o periódico de publicação, a área do trabalho, os objetivos do trabalho e, especialmente, a relação do tema com a Química Ambiental.

4.2. Tratamento dos dados

Inicialmente, os trabalhos encontrados com a utilização da palavra-chave foram categorizados em relação ao ano de publicação, que evidenciou o início da publicação de trabalhos sobre o herbicida glifosato encontrados na SciELO e as quantidades de artigos publicados nos respectivos anos.

Foi possível estabelecer a relação entre os periódicos e a quantidade de artigos publicados em cada um, tornando possível a discussão a respeito do periódico com maior incidência de pesquisas relacionadas ao glifosato. Em seguida, foram eliminados os artigos que demonstravam, de acordo com o resumo e os objetivos, ser

de área distinta da Química, de forma que a amostra selecionada correspondesse ao foco central da pesquisa.

Posteriormente, os trabalhos selecionados foram analisados objetivando-se categorizá-los quanto aos seguintes aspectos: autoria (1 autor, 2 autores e 3 ou mais autores) e sexo dos autores (masculino, feminino e indefinido).

Considerou-se também os objetivos e as metodologias utilizadas nos trabalhos, bem como as áreas de conhecimento dos periódicos, para fins de discussão. Essa seleção e análise possibilitou a observação da incidência de trabalhos publicados sobre o glifosato no tocante à Química Ambiental. Como afirmam Mozeto e Jardim (2002), a Química Ambiental é, hoje, reconhecida como o maior e mais natural exemplo da inter multidisciplinaridade da Química como ciência exata.

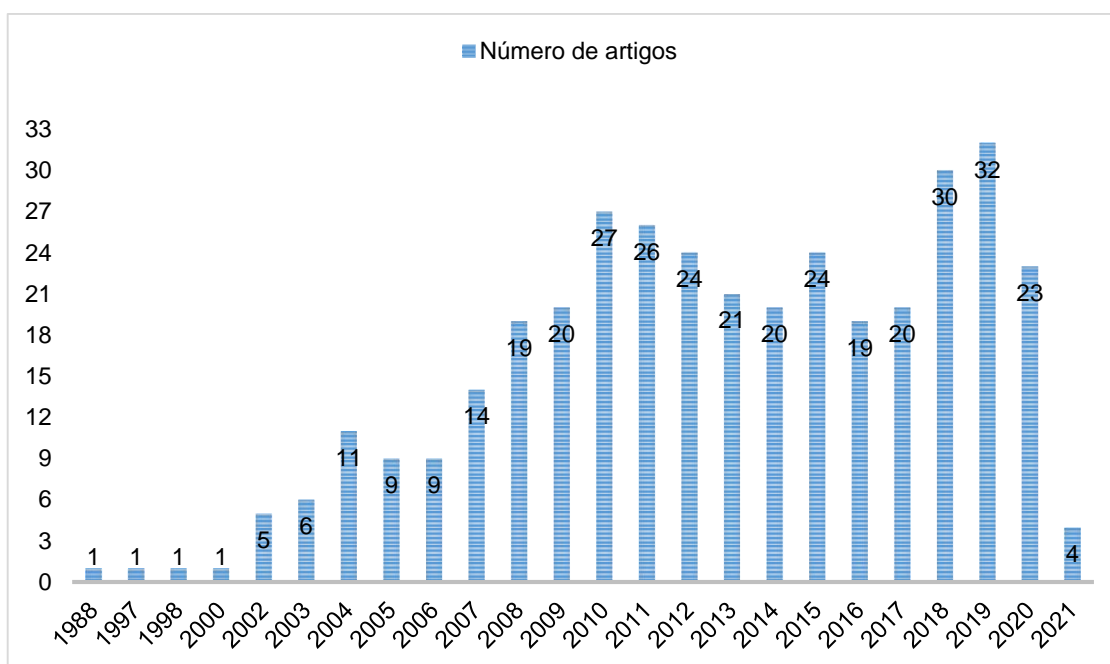
Sendo assim, faz-se necessária a discussão a respeito da importância do estudo desse tema para a Química, tendo em vista que o estudo de substâncias químicas, como o glifosato, e dos impactos causados por seu uso no meio ambiente, compõe a abordagem ambiental dessa ciência (MOZETO; JARDIM, 2002; BAIRD; CANN, 2011).

Vale ressaltar que os resultados do presente trabalho estão sujeitos às limitações relacionadas à técnica de levantamento bibliográfico. Embora a coleta de dados e a seleção tenham sido realizadas de forma adequada, a identificação de artigos depende de fatores como a escolha da palavra-chave realizada pelo autor e as características da própria base de dados. Por conseguinte, determinados trabalhos podem não ter sido identificados na coleta dos dados e outros não estão inseridos na biblioteca eletrônica pesquisada (DAWALIBI et al., 2013).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram identificados inicialmente 366 artigos publicados entre os anos 1997 e 2021, além de 1 artigo no ano de 1988, em 118 periódicos. A Figura 9 apresenta o número de artigos encontrados por ano de publicação, utilizando-se a palavra-chave glifosato na busca.

Figura 9. Número de artigos por ano.



Fonte: SciELO (2021).

Notou-se avanço na pesquisa sobre o glifosato ao longo dos anos, com alguns decréscimos observados em anos específicos. De acordo com o exposto, 2019 foi o ano com mais publicações sobre esse tema (32 artigos).

Foi possível estabelecer a relação entre os nomes dos periódicos e a quantidade de artigos publicada em cada periódico, utilizando glifosato como palavra-chave. Observou-se que o periódico Planta Daninha, publicado pela Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas (SBCPD), é o de maior incidência de artigos publicados acerca do glifosato, com 40 trabalhos. Esse periódico possui como principais áreas de conhecimento: Ciências Agrárias e Ciências Biológicas.

O periódico Pesquisa Agropecuária Brasileira, editado pela Embrapa, apresentou 28 artigos publicados sobre o glifosato. Suas publicações são resultantes

de pesquisas relacionadas à agropecuária, especialmente nas áreas de Fisiologia Vegetal, Genética, Solos, Zootecnia, entre outros. Destacam-se, ainda os periódicos Ciência Rural e Arquivos do Instituto Biológico, com 21 e 11 artigos publicados sobre glifosato, respectivamente. Ambos publicam artigos relacionados principalmente às Ciências Agrárias.

Com 10 artigos publicados, destacou-se a Química Nova, revista criada para ser o órgão oficial de divulgação da Sociedade Brasileira de Química (SBQ) e uma das revistas científicas brasileiras mais importantes. Esse periódico foi lançado em janeiro de 1978, pelo professor Eduardo Peixoto. É o terceiro mais acessado na SciELO, contribuindo para o crescimento da área de Química no Brasil (TORRESI et al., 2007).

Analisando os artigos com base em seus títulos e resumos, foram selecionados 45 trabalhos de diferentes periódicos sobre o glifosato, relacionados à área de Química, para posterior análise e discussão. As Tabelas 2, 3 e 4 apresentam a relação entre os artigos selecionados, os periódicos nos quais foram publicados e o ano de publicação.

Tabela 2. Artigos selecionados, periódico e ano de publicação (1997-2005).

Título	Periódico	Ano de publicação
Qualidade química da água usada para aspersão e seu efeito na atividade do herbicida glifosato	Ciência Rural	1997
Influência da matéria orgânica na sorção e dessorção do glifosato em solos com diferentes atributos mineralógicos	Revista Brasileira de Ciência do Solo	2000
Glifosato: Propriedades, Toxicidade, Usos e Legislação	Química Nova	2002
Métodos de Extração e Determinação do Herbicida Glifosato: Breve Revisão	Química Nova	2002
Adsorption of glyphosate in chilean soils and its relationship with unoccupied phosphate binding sites	Pesquisa Agropecuária Brasileira	2003
Glyphosate sorption and desorption in soils with distinct phosphorus levels	Scientia Agricola	2003
Influence of repeated applications of glyphosate on its persistence and soil bioactivity	Pesquisa Agropecuária Brasileira	2003
Experimental Design Employed to Square Wave Voltammetry Response Optimization for the Glyphosate Determination	Journal of the Brazilian Chemical Society	2004
Complexos Metálicos com o Herbicida Glifosato: revisão	Química Nova	2005
Glyphosate behavior in a Rhodic Oxisol under no-till and conventional agricultural systems	Revista Brasileira de Ciência do Solo	2005
N-(Phosphonomethyl)glycine Interactions with Soils	Journal of the Argentine Chemical Society	2005

Fonte: SciELO (2021).

Tabela 3. Artigos selecionados, periódico e ano de publicação (2006-2014).

Adsorção de glifosato sobre solos e minerais	Química Nova	2006
Estudo de recuperação de glifosato e AMPA derivados em solo utilizando-se resinas nacionais	Química Nova	2006
Adsorption of Glyphosate on Clays and Soils from Paraná State: Effect of pH and Competitive Adsorption of Phosphate	Brazilian Archives of Biology and Technology	2007
Determinação voltamétrica do herbicida glifosato em águas naturais utilizando eletrodo de cobre	Química Nova	2007
Development of Instrumentation for Amperometric and Coulometric Detection using Ultramicroelectrodes	Journal of the Brazilian Chemical Society	2008
Electrooxidación de glifosato sobre electrodos de níquel y cobre	Química Nova	2008
Efecto de los surfactantes sobre la absorción de agroquímicos en plantas	Nova Scientia	2009
Monitoramento do ácido chiquímico no manejo de plantas daninhas com glifosato em pomar comercial de citros	Arquivos do Instituto Biológico	2010
N-labeled glyphosate synthesis and its practical effectiveness	Scientia Agricola	2010
Impacto del glifosato y algunos de sus formulados comerciales sobre el perifiton de agua dulce	Asociación Toxicológica Argentina	2011
Transporte de glifosato pelo escoamento superficial e por lixiviação em um solo agrícola	Química Nova	2011
Determinação espectrofotométrica por injeção em fluxo de glifosato em formulações comerciais de herbicidas	Química Nova	2012
Development of sampling for quantification of glyphosate in natural waters	Ciência e Agrotecnologia	2012
Efectos del herbicida glifosato sobre la estructura y el funcionamiento de comunidades microbianas de dos suelos de plantaciones de olivo	Ecología Austral	2012
Degradation of the Commercial Herbicide Glyphosate by Photo-Fenton Process: Evaluation of Kinetic Parameters and Toxicity	Journal of the Brazilian Chemical Society	2013
A Simple and Efficient Method for Derivatization of Glyphosate and AMPA Using 9-Fluorenylmethyl Chloroformate and Spectrophotometric Analysis	Journal of the Brazilian Chemical Society	2014
Retención y degradación de glifosato en mezclas de rastrojo de maíz y soja con suelo	Ciencia del Suelo	2014

Fonte: SciELO (2021).

Tabela 4. Artigos selecionados, periódico e ano de publicação (2015-2021).

pH dependence of Glyphosate adsorption on soil horizons	Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana	2015
Rapid method for determination of glyphosate in groundwater using high performance liquid chromatography and solid-phase extraction after derivatization	Ambiente & Água	2015
Determinación de la concentración de glifosato en agua mediante la Técnica de inmunoabsorción ligada a enzimas (elisa)	Revista Internacional de Contaminación Ambiental	2016
Residualidad de glifosato en suelos de Entre Ríos y su efecto sobre los microorganismos del suelo	Ecología Austral	2016
Comparación de índices de riesgo de lixiviación de plaguicidas	Ciencia del Suelo	2017

Monitoreo de glifosato en agua superficial en Entre Ríos	Revista de pesquisa agrícola	2017
Tensão superficial, potencial hidrogeniônico e condutividade elétrica de caldas de produtos fitossanitários e adjuvantes	Revista Ciência Agronômica	2017
Bacterias nativas del suelo con potencial para la degradación de glifosato y promoción del crecimiento vegetal	Ciencia del Suelo	2018
Glifosato en cuerpos hídricos: problema ambiental	Revista de Investigaciones Altoandinas	2018
Processo sócio-sanitário-ambiental da poluição por agrotóxicos na bacia dos rios Juruena, Tapajós e Amazonas em Mato Grosso, Brasil	Saúde e Sociedade	2018
The Effects of Nicosulfuron and Glyphosate on Microbial Activity of Different Soils	Planta Daninha	2018
Activated carbon loaded with manganese and iron for glyphosate adsorption: Kinetics, isotherms and thermodynamic studies	Ambiente & Água	2019
Estudio de propiedades moleculares del glifosato usando métodos químico-cuánticos computacionales	Revista CON-CIENCIA	2019
Grupos bacterianos en un argiudol típico con aplicación de glifosato: influencia em bacterias del nitrógeno	Ciencia del Suelo	2019
Influência do etanol como cosubstrato na biorremediação de água contaminada com formulação comercial à base de glifosato	Engenharia Sanitária e Ambiental	2019
Glyphosate-induced impact on the functional traits of the <i>Bacillus</i> sp. FC1 isolate	Pesquisa Agropecuária Tropical	2020
Assessing glyphosate concentrations in six reservoirs of Paraíba do Sul and Guandu River Basins in southeast Brazil	Ambiente & Água	2021

Fonte: SciELO (2021).

A publicação científica mais antiga na SciELO acerca do glifosato, relacionada à Química, é de 1997. O artigo, intitulado "Qualidade química da água usada para aspersão e seu efeito na atividade do herbicida glifosato", é de autoria de Vargas et al. e foi publicado no periódico Ciência Rural. A pesquisa apresentou como principal objetivo a investigação do efeito de águas provenientes de várias origens e com diferentes características químicas, como pH e teores de sais, sobre a atividade do herbicida glifosato aplicado em aveia-preta.

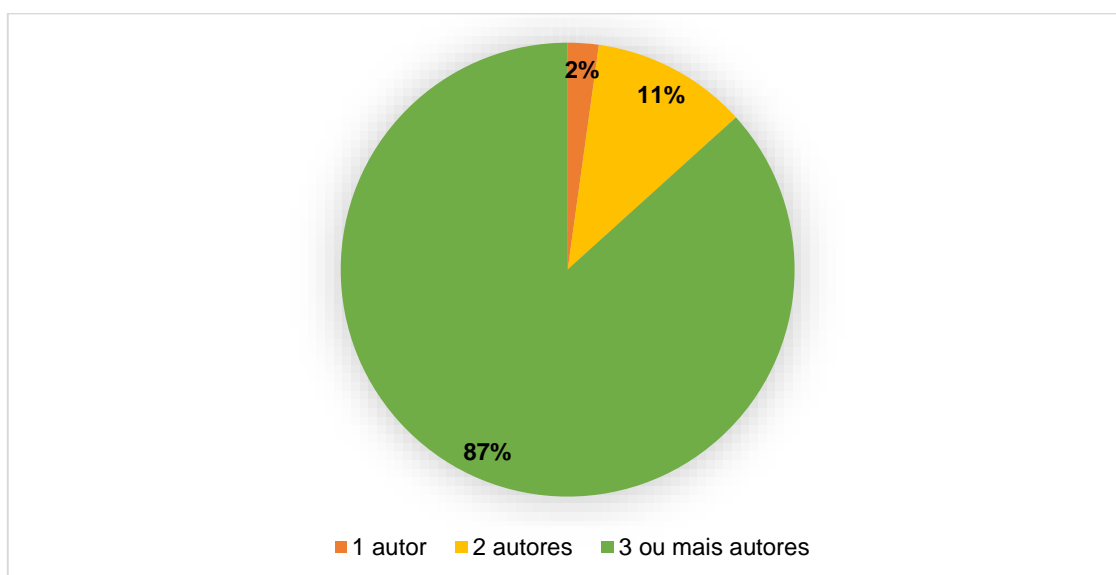
Os anos 2018 e 2019 apresentaram mais publicações na SciELO, porém com apenas 4 artigos publicados em cada ano. Assim, evidenciou-se a reduzida e limitada pesquisa com enfoque no glifosato no contexto da Química, embora a Química Ambiental tenha relevante atuação no diagnóstico e na solução de problemas ambientais de abrangência local, regional, continental e até global (MOZETO; JARDIM, 2002).

O artigo mais recente foi publicado em 2021, no periódico Ambiente & Água. A revista é mantida pela Universidade de Taubaté e editada pelo Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrográficas (IPABHi), uma associação sem fins lucrativos. Ela circula desde 2006 e mais de 95% dos artigos científicos publicados no periódico são gerados a partir de pesquisas originais nas áreas de Ciências Ambientais, Hidrologia, Hidrogeologia, Engenharia Ambiental e Saneamento, Engenharia Florestal, Aquicultura, Oceanologia e Recursos Pesqueiros, Agronomia, Agrometeorologia e Engenharia Agrícola, Engenharia de Pesca, Zootecnia, Geografia e Geologia. A pesquisa, intitulada "Assessing glyphosate concentrations in six reservoirs of Paraíba do Sul and Guandu River Basins in southeast Brazil", tem como autores Cristofaro et al. (2021) e objetivou detectar o glifosato em seis diferentes reservatórios das bacias dos rios Paraíba do Sul e Guandu, na região sudeste do Brasil. Utilizou-se a cromatografia iônica como técnica para a análise desse herbicida nas amostras de água (BATISTA, 2009).

Em relação à autoria dos trabalhos, estes foram divididos da seguinte forma: 1 autor, 2 autores e 3 ou mais autores (Figura 10). A maioria dos artigos (86,7%) apresentaram autoria múltipla, ou seja, com 3 ou mais autores. Os artigos com 2 autores corresponderam a 11,1%, a exemplo do trabalho de Coutinho e Mazo (2005), intitulado "Complexos Metálicos com o Herbicida Glifosato: revisão". Artigos produzidos por 1 autor, como o artigo "Impacto del glifosato y algunos de sus formulados comerciales sobre el perifiton de agua dulce", de Vera (2011), corresponderam a apenas 2,2%.

O trabalho "Complexos Metálicos com o Herbicida Glifosato: revisão" evidenciou que os complexos de cobre(II) com glifosato foram amplamente estudados e caracterizados quanto à sua estrutura e à sua estabilidade em razão da importância do cobre para plantas e animais. As reações de outros íons de metais de transição com o herbicida foram estudadas em menor extensão, destacando a necessidade de pesquisa de vários íons importantes (COUTINHO; MAZO, 2005).

Figura 10. Porcentagens dos trabalhos selecionados em relação ao número de autores.

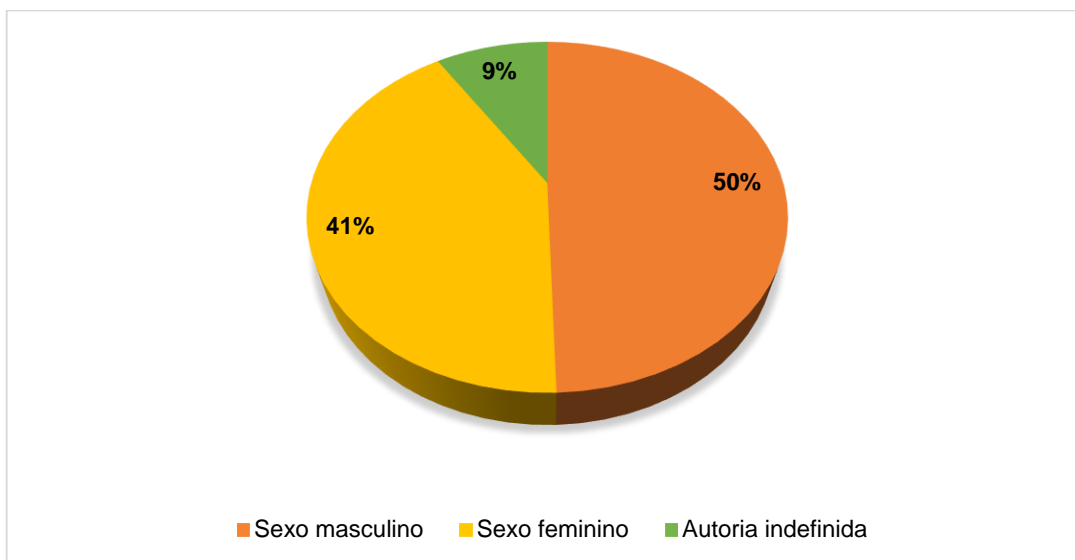


Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Considerando o sexo (Figura 11), observou-se o predomínio do sexo masculino (49,5%), em comparação ao feminino (41,4%). Na minoria dos artigos, por sua vez, a autoria foi indefinida (9,1%), ou seja, não foi possível identificar o sexo. A representação das mulheres nas ciências não é um tema novo e vem sendo amplamente abordado na atualidade, fato que apresenta complexas e múltiplas facetas de ordem sociocultural, econômica ou cognitiva. Por meio de medidas que buscam incentivar o aprendizado de matemática e áreas afins em um período precoce do desenvolvimento feminino, bem como de políticas de incentivo a jovens cientistas, o sexo feminino vem ganhando espaço na produção científica atual de forma gradativa (SOARES, 2001).

A pesquisa "Determinação voltamétrica do herbicida glifosato em águas naturais utilizando eletrodo de cobre", de Garcia e Rollemberg (2007), publicada na Química Nova, é um exemplo de autoria absolutamente feminina. O artigo objetivou avaliar o uso do eletrodo de cobre na determinação direta do glifosato em amostras de águas superficiais, sem a necessidade de reações prévias.

Figura 11. Porcentagens dos trabalhos selecionados em relação ao sexo dos autores.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A Figura 12 evidencia os periódicos que apresentaram maior número de publicações com os artigos já selecionados em relação ao enfoque do trabalho.

Figura 12. Periódico e número de publicações.

Periódico	Número de artigos
Ciência Rural	1
Journal of the Argentine Chemical Society	1
Brazilian Archives of Biology and Technology	1
Nova Scientia	1
Arquivos do Instituto Biológico	1
Asociación Toxicológica Argentina	1
Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana	1
Revista Internacional de Contaminación Ambiental	1
Revista de pesquisa agrícola	1
Revista Ciência Agronômica	1
Revista de Investigaciones Altoandinas	1
Saúde e Sociedade	1
Planta Daninha	1
Revista CON-CIENCIA	1
Engenharia Sanitária e Ambiental	1
Pesquisa Agropecuária Tropical	1
Ciência e Agrotecnologia	1
Revista Brasileira de Ciência do Solo	2
Pesquisa Agropecuária Brasileira	2
Scientia Agricola	2
Ecología Austral	2
Ambiente & Água	3
Journal of the Brazilian Chemical Society	4
Ciencia del Suelo	4
Química Nova	9

Fonte: SciELO (2021).

Foi possível constatar que a Química Nova é a revista que mais publica artigos relacionados ao herbicida glifosato e à Química, não apenas de revisão bibliográfica, como o trabalho "Glifosato: Propriedades, Toxicidade, Usos e Legislação e Métodos de Extração", mas também de pesquisa experimental, como o artigo "Determinação espectrofotométrica por injeção em fluxo de glifosato em formulações comerciais de herbicidas".

Destacou-se também o Journal of the Brazilian Chemical Society, o qual contribui amplamente para a publicação científica. Em 1987, dez anos após a criação da Química Nova, iniciou-se o processo de criação desse novo periódico da SBQ, apresentando uma linha editorial diferente em relação à Química Nova e em inglês. O primeiro número do Journal of the Brazilian Chemical Society foi lançado no ano de 1990, com Eduardo Peixoto como editor-chefe. Foi um dos periódicos pioneiros de livre acesso na internet e, em 2004, o Comitê da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) classificou o periódico como Qualis 1A (TORRESI et al., 2007).

A pesquisa "Development of Instrumentation for Amperometric and Coulometric Detection using Ultramicroelectrodes", de Coutinho et al. (2008) foi publicada no Journal of the Brazilian Chemical Society. Apresentou-se, no trabalho, o desenvolvimento de uma instrumentação simples, portátil e de baixo custo para detecção amperométrica e coulométrica usando ultramicroeletrodos em diferentes sistemas analíticos. A instrumentação desenvolvida foi avaliada utilizando os seguintes sistemas: voltametria cíclica de eletrodos metálicos em solução alcalina e detecção eletroquímica em fluxo de glicose e glicina, bem como na determinação direta do herbicida glifosato, por meio da detecção eletroquímica aliada à CLAE.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando-se a biblioteca digital SciELO como fonte de pesquisa, observou-se que ocorreram avanços nos estudos sobre o glifosato no decorrer dos anos, sendo 2019 o ano com mais publicações sobre esse tema. Entretanto, a partir da análise dos artigos, concluiu-se que há necessidade de maior atenção sobre o tema na área de Química, tendo em vista a importância da Química Ambiental para a sociedade.

Em relação à autoria dos trabalhos, a maioria dos artigos apresentou autoria múltipla, ou seja, com 3 ou mais autores. Observou-se, ainda, o predomínio de autoria masculina nos trabalhos acerca do glifosato no contexto da Química Ambiental. Foi possível constatar, ainda, que a Química Nova é a revista que mais publica artigos com esse enfoque.

Esses resultados reforçam a importância e a necessidade de maior atenção à pesquisa da Química Ambiental no Brasil e, sobretudo, do herbicida glifosato, dado sua ampla utilização na agricultura, segmento que tanto movimenta a economia desse país. Por conseguinte, é necessário considerar a íntima relação da Química com os agrotóxicos, visto que

desenvolver processos químicos que reduzam ou minimizem o uso de substâncias nocivas à saúde humana e ao meio ambiente deve fazer parte da formação do profissional da área de Química. Esse profissional deve conhecer e analisar a química do meio ambiente para então desenvolver esses processos (ZUIN, 2011; MARTINS; AMARAL, 2015).

Vale ressaltar que a ampliação dos problemas ambientais e suas consequências para o âmbito econômico impõem novos desafios aos profissionais de Química e pesquisadores da área. Zoller (2005) aponta como novos requisitos para a formação do químico: a transição do ensino disciplinar para o ensino interdisciplinar e a alteração da ênfase na aprendizagem de algoritmos para o desenvolvimento de habilidades cognitivas de ordem superior, por exemplo, formulação de perguntas, pensamento crítico sistemático, resolução de problemas e tomada de decisões (MAXIMIANO et al., 2009).

A Química Ambiental, por ser interdisciplinar, relevante e integradora e possuir abrangência global, deve ocupar um papel de fundamental importância desde a formação dos químicos pelas universidades, possibilitando aos educandos a compreensão das transformações ocorridas no ambiente e a discussão dos problemas ambientais, bem como reforçando a importância de pesquisas científicas

que contribuam para o desenvolvimento da Química Ambiental enquanto ciência, especialmente no tocante à utilização dos agroquímicos, com destaque para o conhecido herbicida glifosato (ZOLLER, 2005; PAULA et al., 2015; MANAHAN, 2013).

Assim, embora a pesquisa e a política ambientais estejam avançando, especialmente no que se refere ao crescente desenvolvimento das tecnologias e ao estabelecimento de importantes instrumentos legais, é notável a persistência de desafios a serem superados, por meio do aperfeiçoamento das funções da governança ambiental e a aplicação de seus princípios, bem como pela confirmação da necessidade da pesquisa ambiental para a ciência. Esses aspectos, conjuntamente, contribuem para o aumento da capacidade de resposta do Estado às questões ambientais e da devida atenção por parte da sociedade (IPEA, 2016).

7. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (Brasil). **Relatórios de comercialização de agrotóxicos**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2019. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/agrotoxicos/relatorios-de-comercializacao-de-agrotoxicos>. Acesso em: 10 jan. 2021.

ALEF, K.; NANNIPIERI, P. **Methods in applied soil microbiology and biochemistry**. London: Academic Press, 1995.

ALMEIDA, M. D. et al. A flexibilização da legislação brasileira de agrotóxicos e os riscos à saúde humana: análise do Projeto de Lei nº 3.200/2015. **Cadernos de Saúde Pública**, [s. l.], v. 33, n. 7, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/csp/v33n7/1678-4464-csp-33-07-e00181016.pdf>. Acesso em: 9 jan. 2021.

ALMEIDA, P. R.; RODRIGUES, M. V.; IMPERADOR, A. M. Toxicidade aguda (LC50) e efeitos comportamentais e morfológicos de formulado comercial com princípio ativo glifosato em girinos de *Physalaemus cuvieri* (Anura, Leptodactylidae) e *Rhinella icterica* (Anura, Bufonidae). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [s. l.], v. 24, n. 6, p. 1115-1125, nov./dez. 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/esa/v24n6/1809-4457-esa-24-06-1115.pdf>. Acesso em 10 jan. 2021.

ALMEIDA, V. E. S. et al. Uso de sementes geneticamente modificadas e agrotóxicos no Brasil: cultivando perigos. **Ciência & Saúde Coletiva**, [s. l.], v. 22, n. 10, p. 3333-3339, 2017. Disponível em: https://www.scielo.br/pdf/csc/v22n10/pt_1413-8123-csc-22-10-3333.pdf. Acesso em: 10 jan. 2021.

AMARANTE JUNIOR, O. P. et al. GLIFOSATO: PROPRIEDADES, TOXICIDADE, USOS E LEGISLAÇÃO. **Química Nova**, [s. l.], v. 25, n. 4, p. 589-593, 2002. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/qn/v25n4/10534.pdf>. Acesso em: 8 jan. 2021.

ANDRIGHETTI, M. S. et al. BIODEGRADAÇÃO DE GLIFOSATO PELA MICROBIOTA DE SOLOS CULTIVADOS COM MACIEIRA. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s. l.], v. 38, p. 1643-1653, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rbcs/v38n5/a29v38n5.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2021.

ANDRIOLI, A. A. O Roundup, o câncer e o crime do “colarinho verde”. **Revista Espaço Acadêmico**, Maringá, n. 51, ago. 2005. Disponível em: <http://www.espacoacademico.com.br/051/51andrioli.htm>. Acesso em: 11 jan. 2021.

ANTONIOLLI, Z. I. et al. Metais pesados, agrotóxicos e combustíveis: efeito na população de colêmbolos no solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 6, p. 992-998, jun. 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/cr/v43n6/a15813cr4635.pdf>. Acesso em: 2 fev. 2021.

ARAÚJO, A. S. F. **Biodegradação, extração e análise de glifosato em dois tipos de solos**. 2002. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de

Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11138/tde-05092002-161341/publico/ademir.pdf>. Acesso em: 13 jan. 2021.

ARAÚJO, A. S. F. et al. Biodegradação de glifosato em dois solos Brasileiros. **Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 13, p. 157-164, jan./dez. 2003. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/162012/1/2004SP-27-abakerli-Biodegradacao-6934.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2021.

ARAÚJO, I. M. M.; OLIVEIRA, A. G. R. C. Agronegócio e agrotóxicos: impactos à saúde dos trabalhadores agrícolas no nordeste brasileiro. **Trab. Educ. Saúde**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 1, p. 117-129, jan./abr. 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/tes/v15n1/1678-1007-tes-1981-7746-sol00043.pdf>. Acesso em: 5 jan. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE SAÚDE COLETIVA. **Entenda o que é o glifosato, o agrotóxico mais vendido do mundo**. 2019. Disponível em: <https://www.abrasco.org.br/site/noticias/movimentos-sociais/entenda-o-que-e-o-glifosato-o-agrotoxico-mais-vendido-do-mundo/40996/>. Acesso em: 10 jan. 2021.

BAIRD, C.; CANN, M. **Química Ambiental**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2011.

BARTHA, R.; PRAMER, P. Features of a flask and method for measuring the persistence and biological effects of pesticides in soil. **Soil Science**, [s. l.], v. 100, p. 68-70, 1965.

BATISTA, D. G. et al. Efeitos da exposição a herbicida à base de glifosato sobre a mortalidade e reprodução de oligoquetas. *In*: Seminário de Iniciação Científica, 25., 2017, Ijuí. **Anais** [...]. Ijuí: UNIJUÍ, 2017. Disponível em: <https://publicacoeseventos.unijui.edu.br/index.php/salaconhecimento/article/view/7926>. Acesso em: 27 maio 2021.

BATISTA, D. G. et al. Efeitos do glifosato no equilíbrio térmico do solo e na contribuição termogênica de oligoquetas. *In*: Seminário de Iniciação Científica, 27., 2019, Ijuí. **Anais** [...]. Ijuí: UNIJUÍ, 2019. Disponível em: <https://publicacoeseventos.unijui.edu.br/index.php/salaconhecimento/article/view/11812>. Acesso em: 11 jan. 2021.

BATISTA, G. T. Características da Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science (Ambi-Agua) ao completar o quarto volume. **Ambiente & Água**, Taubaté, v. 4, n. 3, p. 18-22, 2009. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/928/92812346001.pdf>. Acesso em: 30 maio 2021.

BENBROOK, C. M. Impacts of genetically engineered crops on pesticide use in the U.S. – the first sixteen years. **Environmental Sciences Europe**, [s. l.], v. 24, n. 24, 2012.

BOHM, G.; CASTILHOS, D. D.; ROMBALDI, C. V. Manejo de soja transgênica com glifosato e imazetapir: efeito sobre a mesofauna e microbiota do solo. **Revista Thema**,

[s. l.], v. 7, n. 2, 2010. Disponível em: <http://periodicosnovo.ifsul.edu.br/index.php/thema/article/view/31/25>. Acesso em: 20 fev. 2021.

BORGGGAARD, O. K.; GIMSING, A. L. Fate of glyphosate in soil and the possibility of leaching to ground and surface waters: a review. **Pest Management Science**, [s. l.], v. 64, n. 4, p. 441-456, 2008.

BRASIL. **Decreto nº 4.074**, de 4 de janeiro de 2002. Regulamenta a Lei no 7.802, de 11 de julho de 1989, que dispõe sobre a pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem e rotulagem, o transporte, o armazenamento, a comercialização, a propaganda comercial, a utilização, a importação, a exportação, o destino final dos resíduos e embalagens, o registro, a classificação, o controle, a inspeção e a fiscalização de agrotóxicos, seus componentes e afins, e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, [2002]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/d4074.htm. Acesso em: 9 jan. 2021.

BRASIL. **Lei nº 7.802, de 11 de julho de 1989**. Dispõe sobre a pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem e rotulagem, o transporte, o armazenamento, a comercialização, a propaganda comercial, a utilização, a importação, a exportação, o destino final dos resíduos e embalagens, o registro, a classificação, o controle, a inspeção e a fiscalização de agrotóxicos, seus componentes e afins, e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, [1989]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l7802.htm. Acesso em: 9 jan. 2021.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Estatísticas de Comercio Exterior do Agronegócio Brasileiro**. Brasília, DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2014. Disponível em: <http://sistemasweb.agricultura.gov.br/pages/AGROSTAT.html>. Acesso em: 27 maio 2021.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Relatório: Vigilância em Saúde de Populações Expostas a Agrotóxicos no Estado de Goiás**. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2016. Disponível em: <http://portalarquivos2.saude.gov.br/images/pdf/2015/julho/08/Relat--rio-Goi--s.pdf>. Acesso em: 27 maio 2021.

CALAÇA, M.; DIAS, W. A. A modernização do campo no Cerrado e as transformações socioespaciais em Goiás. **CAMPO-TERRITÓRIO**, [s. l.], v. 5, n. 10, p. 312-332, ago. 2010. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/campoterritorio/article/view/12049/8254>. Acesso em: 10 jan. 2021.

CARVALHO, L. B. **Herbicidas**. 1. ed. Lages: Edição do autor, 2013. Disponível em: https://www.fcav.unesp.br/Home/departamentos/fitossanidade/leonardobiancodecarvalho/livro_herbicidas.pdf. Acesso em: 25 maio 2021.

CARVALHO, L. B.; BIANCO, S.; BIANCO, M. S. Estudo comparativo do acúmulo de massa seca e macronutrientes por plantas de *Zea mays* e *Ipomoea hederifolia*. **Planta**

Daninha, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 99-107, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/pd/v25n2/a08v25n2.pdf>. Acesso em: 7 jan. 2021.

CASTRO JÚNIOR, J. V. **Avaliação do Impacto do Herbicida Glifosato na Microbiota do Solo e Biodegradação por Cepas de *Fusarium***. 2006. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola e do Ambiente) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/6829/000536079.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 28 jan. 2021.

CASTRO JÚNIOR, J. V.; SELBACH, P. A.; ZÁCHIAAYUB, M. C. Avaliação do herbicida glifosato na microbiota do solo. **Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 16, p. 21-30, jan./dez. 2006. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/pesticidas/article/view/7476/5345>. Acesso em: 20 jan. 2021.

COUTINHO, C. F. B. et al. Development of Instrumentation for Amperometric and Coulometric Detection using Ultramicroelectrodes. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, [s. l.], v. 19, n. 1, 131-139, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/jbchs/a/WXpcVLP4DwCZpZnFFsFHPcT/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 30 maio 2021.

COUTINHO, C. F. B.; MAZO, L. H. Complexos metálicos com o herbicida glifosato: revisão. **Química Nova**, [s. l.], v. 28, n. 6, p. 1038-1045, 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/qn/v28n6/26835.pdf>. Acesso em: 13 jan. 2021.

CRISTOFARO, C. S. et al. Assessing glyphosate concentrations in six reservoirs of Paraíba do Sul and Guandu River Basins in southeast Brazil. **Ambiente & Água**, Taubaté, v. 16 n. 1, p. 1-16, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/dv6bHsXCpHDGLymC8sZV5Lr/?lang=en&format=pdf>. Acesso em: 30 maio 2021.

DALLMANN, C. M. et al. Impacto da Aplicação de Glifosato na Microbiota do Solo Cultivado com Soja Geneticamente Modificada. **Revista Thema**, [s. l.], v. 7, n. 1, 2010. Disponível em: <http://periodicos.ifsul.edu.br/index.php/thema/article/view/18/17>. Acesso em: 29 jan. 2021.

DAWALIBI, N. W. et al. Envelhecimento e qualidade de vida: análise da produção científica da SciELO. **Estudos de Psicologia**, Campinas, v. 30, n. 3, p. 393-403, jul./set. 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csc/a/s5TvMQYPr9ph6NZY4qgtynv/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 28 maio. 2021.

DICK, R. E.; QUINN, J. P. Glyphosate-degrading isolates from environmental samples: occurrence and pathways of degradation. **Applied Microbiology and Biotechnology**, [s. l.], v. 43, n. 3, p. 545-550, 1995.

DÖRR, F. **Efeito do herbicida glifosato sobre o crescimento e produção de metabólitos secundários em *Microcystis aeruginosa* e *Cylindrospermopsis raciborskii***. 2015. Tese (Doutorado em Toxicologia e Análises Toxicológicas) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/9/9141/tde-10062015-171941/publico/Fabiane_Dorr_DO_corrigida.pdf. Acesso em: 10 jan. 2021.

DUBREUIL, V. et al. Evolução da fronteira agrícola no centro-oeste de Mato Grosso: municípios de Tangará da Serra, Campo Novo do Parecis e Diamantino. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 22, n. 2, p. 463-478, maio/ago. 2005.

FENG, J. C.; THOMPSON, D. G. Fate of glyphosate in a Canadian forest watershed. 2: persistence in foliage and soils. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, Washington, v. 38, p. 1118-1125, 1990.

FUNKE, T. et al. Molecular basis for the herbicide resistance of Roundup Ready crops. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, [s. l.], v. 103, n. 35, p. 13010-13015, 2006.

GALLI, A. J. B.; MONTEZUMA, M. C. **Glifosato**: Alguns Aspectos do Herbicida Glifosato na Agricultura. São Paulo: Acadcom, 2005.

GARCIA, A. F.; ROLLEMBERG, M. C. Determinação voltamétrica do herbicida glifosato em águas naturais utilizando eletrodo de cobre. **Química Nova**, [s. l.], v. 30, n. 7, p. 1592-1596, 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/Zvw8Gt6Ptmc5J3jMRKwWDFh/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 30 maio 2021.

GAUPP-BERGHAUSEN, M. et al. Glyphosate-based herbicides reduce the activity and reproduction of earthworms and lead to increased soil nutrient concentrations. **Scientific Reports**, [s. l.], v. 5, p. 1-9, 2015.

GIESY, J. P.; DOBSON, S.; SOLOMON, K. R. Ecotoxicological risk assesmentfor Roundup herbicide. **Reviews of Environmental Contamination and Toxicology**, New York, v. 167, p. 35-120, 2000.

GLAESER, D. F. **Influência dos herbicidas glifosato e glifosato+2,4-D sobre a população de ácaros (Aracnida: Acari) edáficos em sistemas de plantio direto e plantio convencional**. 2008. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2008. Disponível em: <http://repositorio.ufgd.edu.br/jspui/bitstream/prefix/313/1/DanieleFabianaGlaeser.pdf>. Acesso em: 11 jan. 2021.

GOIÁS. Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Informativo**, de outubro de 2020. Dispõe sobre os indicadores dos principais institutos de pesquisa e bases de dados do agronegócio brasileiro, com o recorte para o Estado de Goiás. Goiânia: Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2020. Disponível em: <https://www.agricultura.go.gov.br/files/Agro-em-Dados-2020/OUTUBRO-AGROEMDADOS-BAIXA.pdf>. Acesso em: 6 jan. 2021.

HAYASHI, M. C. P. I. História da educação brasileira: a produção científica na biblioteca eletrônica SciELO. **Educação e Sociedade**, Campinas, v. 29, n. 102, p. 181-211, jan./abr. 2008. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/es/a/h4ZVWXBXnZfSRNGpBziT4fG/?lang=pt&format=pdf>.

Acesso em: 28 maio 2021.

HELANDER, M.; SALONIEMI, I.; SAIKKONEN, K. Glifosato in northern ecosystems. **Trends Plant Science**, [s. l.], v. 17, n. 10, p. 569-574, 2012.

HERRMANN, K. M.; WEAVER, L. M. The shikimate pathway. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, [s. l.], v. 50, n. 1, p. 473-503, 1999.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Governança ambiental no Brasil: instituições, atores e políticas públicas**. Brasília: Ipea, 2016. 352 p. Disponível em: https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/livros/livros/160719_governanca_ambiental.pdf. Acesso em: 30 maio 2021.

ISMAEL, L. L.; ROCHA, E. M. R. Estimativa de contaminação de águas subterrâneas e superficiais por agrotóxicos em área sucroalcooleira, Santa Rita/PB, Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, [s. l.], v. 24, n. 12, p. 4665-4675, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/csc/v24n12/1413-8123-csc-24-12-4665.pdf>. Acesso em: 5 jan. 2021.

JACOB, G. S. et al. Metabolism of glyphosate in *Pseudomonas* sp. strain LBr. **Applied and Environmental Microbiology**, [s. l.], v. 54, n. 12, p. 2953-2958, 1988.

JAVARONI, R. C. A.; LANDGRAF, M. D.; REZENDE, M. O. O. Comportamento dos herbicidas atrazina e alacror aplicados em solo preparado para o cultivo de cana-de-açúcar. **Química Nova**, [s. l.], v. 22, p. 58-64, 1999.

KACZEWER, J. Toxicología del glifosato: riesgos para la salud humana. **La Producción Orgánica Argentina**, Buenos Aires, n. 60, p. 553-561, 2002.

KISHORE, G. M.; JACOB, G. S. Degradation of glyphosate by *Pseudomonas* sp. PG2982 via a sarcosine intermediate. **Journal of Biological Chemistry**, [s. l.], v. 262, n. 25, p. 12164-12168, 1987.

LEAL, A. L.; MARQUES, C. A. O Conhecimento Químico e a Questão Ambiental na Formação Docente. **Química Nova na Escola**, [s. l.], n. 29, p. 30-33, ago. 2008. Disponível em: <http://qnesc.sbg.org.br/online/qnesc29/07-PEQ-2807.pdf>. Acesso em: 5 jan. 2021.

LINS, V. S.; SANTOS, H. R.; GONÇALVES, M. C. The effect of the glyphosate, 2,4-D, atrazine e nicosulfuron herbicides upon the Edaphic collembola (Arthropoda: Ellipura) in a no tillage system. **Neotropical Entomology**, [s. l.], v. 36, n. 2, p. 261-267, mar./abr. 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ne/a/8wRGthbwqC86zdvm3Xq6wbM/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 31 maio 2021.

LIU, C. M. et al. Degradation of the herbicide glyphosate by members of the Family Rhizobiaceae. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 57, p. 1799-804, 1991.

LOPES, C. V. A.; ALBUQUERQUE, G. S. C. Agrotóxicos e seus impactos na saúde humana e ambiental: uma revisão sistemática. **Saúde Debate**, Rio de Janeiro, v. 42, n. 117, p. 518-534, abr./jun. 2018. Disponível em: <https://scielosp.org/pdf/sdeb/2018.v42n117/518-534/pt>. Acesso em: 9 jan. 2021.

LUCHESE, E. B.; FAVERO, L. O. B.; LENZI, E. **Fundamentos da Química do Solo: teoria e prática**. 2. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 2002.

MALLMANN, L. S. **Dinâmica do glifosato em latossolo vermelho distroférrico fertirrigado com água residuária da suinocultura**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Centro De Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2009. Disponível em: <http://tede.unioeste.br/bitstream/tede/2766/1/Larissa%20Schmatz%20Mallmann.pdf>. Acesso em: 11 jan. 2021.

MALTY, J. S.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Efeitos do glifosato sobre microrganismos simbiotróficos de soja, em meio de cultura e casa de vegetação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 2, p. 285-291, fev. 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/pab/v41n2/a13v41n2.pdf>. Acesso em 10 jan. 2021.

MANAHAN, S. E. **Química Ambiental**. 9. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

MARCHI, G.; MARCHI, E. C. S.; GUIMARÃES, T. G. **Herbicidas: mecanismos de ação e uso**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2008.

MARTINI, G. et al. Eficácia de uma nova formulação de glifosato para o controle de grama-seda (*Cynodon dactylon*), em pomar de citros. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 683-686, dez. 2002. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rbf/v24n3/15112.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2021.

MARTINS, F.; AMARAL, C. L. C. Diagnóstico da Disciplina Química Ambiental nos Cursos de Graduação em Química do Estado de São Paulo. **Pesquisa em Educação Ambiental**, [s. l.], v. 10, n. 2, p. 36-44, 2015. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/pea/article/view/131074/127513>. Acesso em: 30 maio 2021.

MAXIMIANO, F. A. et al. Química Ambiental e Química Verde no conjunto do conhecimento químico: concepções de alunos de graduação em Química da Universidade de São Paulo. **Educación Química**, México, v. 20, n. 4, p. 398-404, 2009. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0187893X18300429>. Acesso em: 30 maio 2021.

MONQUERO, P. A. et al. Eficiência de herbicidas pré-emergentes após períodos de seca. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 26, n. 1, p. 185-193, 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/j/pd/a/Svhgbk8jKJ7fmG7DXZQBvNg/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 25 maio 2021.

MORAES, P. V. D.; ROSSI, P. Comportamento ambiental do glifosato. **Scientia Agraria Paranaensis**, [s. l.], v. 9, n. 3, p. 22-35, 2010. Disponível em: <https://www.cevs.rs.gov.br/upload/arquivos/201712/06131757-comportamento-ambiental-do-glifosato.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2021.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2.ed. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2006.

MOREIRA, M. S.; et al. Resistência de *Conyza canadensis* e *C. bonariensis* ao herbicida glifosato. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 157-164, 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/pd/v25n1/a17v25n1.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2021.

MOZETO, A. A.; JARDIM, W. F. A. Química Ambiental no Brasil. **Química Nova**, [s. l.], v. 25, n. 1, p. 7-11, 2002. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/qn/v25s1/9406.pdf>. Acesso em: 1 mar. 2021.

OLIVEIRA, L. K. et al. Processo sócio-sanitário-ambiental da poluição por agrotóxicos na bacia dos rios Juruena, Tapajós e Amazonas em Mato Grosso, Brasil. **Saúde e Sociedade**, São Paulo, v. 27, n. 2, p. 573-587, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/sausoc/v27n2/1984-0470-sausoc-27-02-573.pdf>. Acesso em: 7 jan. 2021.

PASINI, R. A. et al. Persistência de herbicidas dessecantes aplicados em milho transgênico sobre *Trichogramma pretiosum* Riley, 1879 (Hymenoptera: Trichogrammatidae). **Revista Ciência Agronômica**, [s.l.], v. 48, n. 1, p. 175-181, jan./mar. 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rca/v48n1/1806-6690-rca-48-01-0175.pdf>. Acesso em: 7 jan. 2021.

PAULA, T. V. et al. PROPOSTA EDUCATIVA UTILIZANDO O JOGO RPG MAKER: ESTRATÉGIA DE CONSCIENTIZAÇÃO E DE APRENDIZAGEM DA QUÍMICA AMBIENTAL. **HOLOS**, [s. l.], n. 8, p. 98-112, 2015. Disponível em: <http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/1844/1314>. Acesso em: 30 maio 2021.

PELAEZ, V. et al. A dinâmica do comércio internacional de agrotóxicos. **Revista de Política Agrícola**, [s. l.], n. 2, p. 39-52, abr./maio/jun. 2016. Disponível em: <https://seer.sede.embrapa.br/index.php/RPA/article/view/1116/pdf>. Acesso em: 9 jan. 2021.

PELAEZ, V.; TERRA, F. H. B.; SILVA, L. R. A regulamentação dos agrotóxicos no Brasil: entre o poder de mercado e a defesa da saúde e do meio ambiente. **Revista de Economia**, [s. l.], v. 36, n. 1, p. 27-48, jan./abr. 2010. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/economia/article/view/20523/13714>. Acesso em: 9 jan. 2021.

PIPKE, R.; SCHULZ, A.; AMRHEIN, N. Uptake of glyphosate by an *Arthrobacter* sp. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 53, p. 974-8, 1987.

PRATA, F. **Comportamento do glifosato no solo e deslocamento miscível de atrazina**. 2002. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

PRATA, F.; LAVORENTI, A. Comportamento de herbicidas no solo: Influência da matéria orgânica. **Revista Biociências**, Taubaté, v. 6, n. 2, p.17-22, jul./dez. 2000. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5262126/mod_resource/content/1/Materia%20Organica%20e%20comportamento%20dos%20herbicidas.pdf. Acesso em: 8 jan. 2021.

RAMOS, H. H.; DURIGAN, J. C. Avaliação da eficiência da mistura pronta de glyphosate + 2,4-D no controle da *Commelina virginica* L. em citrus. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 14, n. 1, p. 33-41, 1996. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/pd/v14n1/a04v14n1.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2021.

RENAUD, A. et al. Influence of four soil maintenance practices on Collembola communities in a Mediterranean vineyard. **Pedobiologia**, [s. l.], v. 48, p. 623-630, 2004.

RIGOTTO, R. M.; VASCONCELOS, D. P.; ROCHA, M. M. Uso de agrotóxicos no Brasil e problemas para a saúde pública. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 30, n. 7, jul. 2014. Disponível em: https://www.scielo.br/pdf/csp/v30n7/pt_0102-311X-csp-30-7-1360.pdf. Acesso em: 9 jan. 2021.

RODRIGUES, L. B. **Efeitos ecotoxicológicos do glifosato e formulações em diferentes organismos**. 2017. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) – Faculdade de Farmácia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016. Disponível em: <https://repositorio.bc.ufg.br/tede/bitstream/tede/6825/5/Disserta%c3%a7%c3%a3o%20-%20La%c3%ads%20de%20Brito%20Rodrigues%20-%202016.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2021.

RONCHI, C. P. et al. Carfentrazone-ethyl, isolado e associado a formulações de glyphosate no controle de duas espécies de trapoeraba. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 20, n. 1, p. 103-113, 2002. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/pd/v20n1/14.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2021.

RONCHI, C. P. et al. MANEJO DE PLANTAS DANINHAS NA CULTURA DO MAMOEIRO. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 937-947, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/pd/v26n4/26.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2021.

SANTOS, D. B. et al. Toxicidade do glifosato em solo de cultivo de cacau na Amazônia (Pará). In: XV CONGRESSO BRASILEIRO DE ECOTOXICOLOGIA, 15., 2018, Aracaju. **Anais** [...]. Aracaju: SBE, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Aline-Bernegossi/publication/331357554/Sublethal_effects_of_caffeine_in_Daphnia_magna_life_cycle_using_a_new-term_endpoint/links/5f567dc3a6fdcc9879d62356/Sublethal-effects-of-caffeine-in-Daphnia-magna-life-cycle-using-a-new-term-endpoint.pdf#page=971. Acesso em: 26 maio 2021.

SANTOS, J. B. et al. Avaliação de formulações de glyphosate sobre soja Roundup Ready. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 165-171, 2007. Disponível em:

<http://www.scielo.br/j/pd/a/wvxwCBpKpfLqqqV7MCPy45n/?format=pdf&lang=pt>.

Acesso em: 25 maio 2021.

SANTOS, L. P. et al. Agronegócio brasileiro no comércio internacional. **Revista de Ciências Agrárias**, [s. l.], v. 39, n. 1, p. 54-69, 2016.

SILVA, T. F.; BARP, E. A.; ARMILIATO, N. Avaliação da toxicidade celular do glifosato sobre as gônadas de *Danio rerio* (cyprinidae). **Saúde e Meio Ambiente**, [s. l.], v. 6, n. 1, p. 85-95, jan./jun. 2017. Disponível em: <https://www.periodicos.unc.br/index.php/sma/article/view/1041>. Acesso em: 11. jan. 2021.

SILVA, W. C. **Desempenho dos herbicidas indaziflam e glifosato na cultura do café conilon**. 2016. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2016. Disponível em: http://www.sbicafe.ufv.br/bitstream/handle/123456789/11287/Dissertacao_Wanderso_n%20da%20Costa%20Silva.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 12 jan. 2021.

SOARES, R. M. et al. Utilização de glifosato para o controle de ferrugem da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. 43, n. 4, p. 473-477, abr. 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/pab/v43n4/a05v43n4.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2021.

SOARES, T. A. Mulheres em Ciência e Tecnologia: Ascensão Limitada. **Química Nova**, [s. l.], v. 24, n. 2, p. 281-285, 2001. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/iupap/mulher/soares.pdf>. Acesso em: 30 maio 2021.

SOUZA FILHO, J. **Efeitos tóxicos e genotóxicos do herbicida Roundup Transorb® em Guppy (*Poecilia reticulata*) submetido a tratamento agudo**. 2011. Dissertação (Mestrado em Biologia) – Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011. Disponível em: <https://repositorio.bc.ufg.br/tede/bitstream/tde/1259/1/Dissertacao%20Jose%20de%20Souza%20Filho.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2021.

SOUZA, A. P. **Atividade de oxyfluorfen, 2,4-D e glyphosate em solos de diferentes texturas na presença e na ausência de composto orgânico**. 1994. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1994.

SOUZA, A. P. et al. Efeito do oxyfluorfen, 2,4-D e glyphosate na atividade microbiana de solos com diferentes texturas e conteúdos de matéria orgânica. **Planta Daninha**, [s. l.], v. 14, n. 1, 1996. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pd/a/Wd3NCHVKM5xgh98htQdtmFz/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 28 maio 2021.

SPADOTTO, C. A. et al. **Monitoramento do Risco Ambiental de Agrotóxicos: princípios e recomendações**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2004. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/14523/monitoramento-do-risco-ambiental-de-agrotoxicos-principios-e-recomendacoes>. Acesso em: 8 jan. 2021.

STEFFEN, G. P. K.; STEFFEN, R. B.; ANTONIOLLI, Z. I. Contaminação do solo e da água pelo uso de agrotóxicos. **TECNO-LÓGICA**, Santa Cruz do Sul, v. 15, n. 1, p. 15-21, jan./jun. 2011.

TAQUETTE, S. R.; MINAYO, M. C. Análise de estudos qualitativos conduzidos por médicos publicados em periódicos científicos brasileiros entre 2004 e 2013. **Physis Revista de Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 26, n. 2, p. 417-434, 2016. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/physis/a/sFGYqhpzR9wGbhJXz7wvjvGv/?format=pdf&lang=pt>.

Acesso em: 28 maio 2021.

TAVARES, G. G. et al. Território de plantar, colher e adoecer? Produção agrícola, agrotóxicos e adoecimento em Goiás, Brasil (2000 a 2013). **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 32, p. 381-391, 2020. Disponível em:

<http://www.seer.ufu.br/index.php/sociedadennatureza/article/view/46823/29090>.

Acesso em 10 jan. 2021.

TONI, L. R. M.; SANTANA, H.; ZAIA, D. A. M. Adsorção de glifosato sobre solos e minerais. **Química Nova**, [s. l.], v. 29, n. 4, p. 829-833, 2006. Disponível em:

<https://www.scielo.br/pdf/qn/v29n4/30266.pdf>. Acesso em: 8 jan. 2021.

TORRESI, S. I. C. et al. A importância das revistas Química Nova e Journal of the Brazilian Chemical Society no crescimento da área de química no Brasil. **Química Nova**, [s. l.], v. 30, n. 6, p. 1491-1497, 2007. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/qn/a/ZyKrJd7wgVgpTg3Fq5g7Fqf/?lang=pt&format=pdf>.

Acesso em: 30 maio 2021.

TU, C. et al. Effects of fungicides and insecticides on feeding behavior and community dynamics of earthworms: Implications for casting control in turfgrass systems. **Applied Soil Ecology**, [s. l.], v. 47, p. 31-36, 2011.

ULGUIM, A. R. et al. Manejo de capim pé-de-galinha em lavouras de soja transgênica resistente ao glifosato. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, n. 1, p. 17-24, jan. 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/pab/v48n1/03.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2021.

VARGAS, L. et al. Qualidade química da água usada para aspersão e seu efeito na atividade do herbicida glifosato. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 27, n. 4, p. 543-548, 1997. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/cr/v27n4/a03v27n4.pdf>. Acesso em: 1 mar. 2021.

YAMADA, T.; CASTRO, P. R. C. EFEITOS DO GLIFOSATO NAS PLANTAS: IMPLICAÇÕES FISIOLÓGICAS E AGRONÔMICAS. **International plant nutrition institute**, Piracicaba, 2007. Encarte de informações agronômicas 119. Disponível em:

[https://www.ipni.net/PUBLICATION/IA-](https://www.ipni.net/PUBLICATION/IA-BRASIL.NSF/0/737CD8A86525A2EC83257AA1005FE1B9/$FILE/Encarte-119.pdf)

[BRASIL.NSF/0/737CD8A86525A2EC83257AA1005FE1B9/\\$FILE/Encarte-119.pdf](https://www.ipni.net/PUBLICATION/IA-BRASIL.NSF/0/737CD8A86525A2EC83257AA1005FE1B9/$FILE/Encarte-119.pdf).

Acesso em: 7 jan. 2021.

ZABALOY, M. C.; GARLAND, J. L.; GÓMEZ, M. A. An integrated approach to evaluate the impacts of the herbicides glyphosate, 2,4-D and metsulfuron-methyl on soil

microbial communities in the Pampas region, Argentina. **Applied Soil Ecology**, [s. l.], v. 40, p. 1-12, 2008.

ZOLLER, U. Education in Environmental Chemistry: Setting the Agenda and Recommending Action, **Journal of Chemical Education**, [s. l.], v. 82, n. 8, p. 1237-1240, 2005.

ZUIN, V. G. **A inserção da dimensão ambiental na formação de professores de química**. São Paulo: Átomo, 2011.