

SOJA TRANSGÊNICA, RESISTÊNCIA E TOLERÂNCIA DAS PLANTAS DANINHAS AO GLIFOSATO

Janete de Oliveira¹

Rodrigo Brito de Faria²

RESUMO

As plantas daninhas estão presentes em todas as culturas agrícolas, em sua maioria são controladas pela aplicação de herbicidas. Elas apresentam constante evolução, ocorrendo pelo processo de seleção natural, porém esse dinamismo pode ser acelerado com a pressão causada por herbicidas, selecionando apenas as resistentes. Essas mutações, além de afetar a tolerância da planta ao herbicida, podem modificar a fisiologia e o metabolismo da espécie. Com a criação da soja RR, houve um aumento no uso de glyphosate para controle de ervas daninhas, isso promoveu o aumento na resistência de genótipos indesejáveis, sendo necessário compreender o desempenho, bem como as possíveis alterações dessas plantas mediante às aplicações do herbicida. A tecnologia de materiais resistentes ao glyphosate foi criada com o intuito de facilitar o manejo na cultura, porém se não for manejado adequadamente pode acarretar em problemas futuros. Este trabalho é uma pesquisa bibliográfica de caráter exploratório com base em levantamentos bibliográficos tais como materiais já publicados, visando abordar sobre a resistência e a pressão de seleção em plantas daninhas no Brasil com o herbicida, associado ao uso da transgenia em soja. Deste modo, torna-se importante a análise sobre o uso da soja transgênica e a resistência de plantas daninhas ao glyphosate devido ao fato de que tem sido utilizado frequentemente em todo o mundo por longos anos.

Palavras-chave: Pressão de seleção. Biótipos. Resistência.

ABSTRACT:

Weeds are present in all agricultural crops, most of which are controlled by the application of herbicides. They present constant evolution, occurring through the process of natural selection, but this dynamism can be accelerated with the pressure caused by herbicides, selecting only the resistant ones. These mutations, in addition to affecting the plant's tolerance to the herbicide, can modify the physiology and metabolism of the species. With the creation of RR soybeans, there was an increase in the use of glyphosate to control weeds, which promoted an increase in the resistance of undesirable genotypes, making it necessary to understand the performance, as well as the possible changes of these plants through herbicide applications. The technology of materials resistant to glyphosate was created with the

¹ Acadêmica do curso de Agronomia das Faculdades Magsul (FAMAG). E-mail: janetedeoliveira0707@gmail.com.

² Professor orientador do curso de Agronomia das Faculdades Magsul (FAMAG). E-mail: rodrigobiotech@gmail.com.

aim of facilitating the handling in the culture, but if it is not handled properly it can lead to future problems. This work is an exploratory bibliographical research based on bibliographic surveys such as already published materials, aiming to address the resistance and selection pressure in weeds in Brazil with the herbicide, associated with the use of transgenic in soybean. Thus, it becomes important to analyze the use of transgenic soybeans and the resistance of weeds to glyphosate due to the fact that it has been used frequently all over the world for many years.

Keywords: Selection pressure. Biotypes. Resistance.

1 INTRODUÇÃO

O mercado de herbicidas e produtos transgênicos tem ganhado espaço e vem sendo muito difundido no Brasil, pois possibilita uma maior demanda de alimentos com base em recursos tecnológicos modernizados. “[...] a genética de melhoramento de plantas conferiu um aumento de 100% na produção, em relação a um aumento de 12% da área plantada, ou seja, a capacidade produtiva por área teve uma alta expressão”.(COSSETIN e DURANTE, 2018, p.574).

A primeira soja transgênica desenvolvida com finalidade de ser tolerante ao herbicida glifosato foi a variedade RoundupReady (RR) patenteada pela empresa Monsanto. “Essa metodologia de transferência de genes por técnicas de laboratório ficou conhecida pelo nome de transformação genética ou transgenia, por isso a soja que sofre modificações genéticas é denominada soja transgênica. (DEGANI, 2021, p.06)

Este mercado está em constante transformação para proporcionar melhor desempenho na produção, bem como facilitar o manejo. É de suma importância que o produtor esteja atento aos sinais de seleção de plantas daninhas tolerantes e/ou resistentes em sua lavoura. “Repetidas aplicações de uma mesma classe de herbicida causa pressão de seleção, fator decisivo para o surgimento dos problemas de resistência”. (GAZZIEIRO; ADEGAS; VOLL, 2008, p.02).O debate sobre esse assunto torna-se inevitável, pois a utilização do pesticida tem aumentado com a instauração do uso de soja transgênica.Por muito tempo, o glyphosate tem sido utilizado de forma contínua, “No Brasil o glyphosate vem sendo utilizado há mais de 30 anos pelos agricultores” (VARGAS e GAZZIERO, 2008, p. 70).

É de suma importância o controle das plantas daninhas na cultura da soja, entre outras de interesse comercial, quando não controladas adequadamente ocorre

a matocompetição, reduzindo a produção interferindo até mesmo na colheita. “As plantas daninhas acarretam perdas na produtividade, devido, principalmente, à competição por luz, nutrientes e água, além de dificultarem a colheita”. (NEPUMUCENO, *et al.*, 2007, p.43). Além do mais podem “[...] causar perdas e dificuldades na operação da colheita e servir de hospedeiro para pragas e doenças, também liberar toxinas altamente prejudiciais ao desenvolvimento”. (VARGAS e ROMAN, 2006, p.03)

Existem as plantas tolerantes e/ou resistentes ao glyphosate, isso gera uma preocupação em áreas onde se cultiva soja transgênica, a qual possui tolerância conferida por meio de incorporação de genes. Segundo Inoue e De Oliveira Jr. (2011), as plantas daninhas tolerantes possuem a capacidade natural de sobreviver e se reproduzir após o tratamento com herbicida. Para Gazzieiro; Adegas e Voll (2008, p.02) “Além das plantas tolerantes, existem também as plantas consideradas resistentes, ou seja, indivíduo de uma espécie que era considerada como suscetível ao glifosato, mas que sobrevivem à aplicação desse produto”.

O glyphosate, que antes da introdução de culturas resistentes era aplicado aproximadamente uma vez ao ano, na pré-semeadura das lavouras, após a introdução das culturas geneticamente modificadas, passou a ser aplicado com maior frequência, elevando a pressão de seleção exercida pelo herbicida sobre biótipos de plantas daninhas resistente. (CARPEJANI e OLIVEIRA, 2013, p. 27)

De acordo com Minozzi; Monquero e Pereira (2014, p.407), “Após a emergência da cultura, a grande maioria dos produtores faz uso apenas do glifosato, pois é neste ponto que se encontra o facilitador do manejo da cultura”. Desta forma, o herbicida glyphosate vem sendo utilizado com mais intensidade pela praticidade na cultura da soja RR. Ressaltando que não seja uma realidade isolada, e os relatos de resistência estão presentes em todo o mundo. De acordo com Gazzieiro (2014), o primeiro caso de resistência ao herbicida glifosato no mundo foi reportado em 1996, com a espécie *Lolium rigidum* na Austrália. Os biótipos resistentes ao glifosato estão relatados em 229 locais presentes na Argentina, África do Sul, Austrália, Bolívia, Brasil, Canadá, Chile, China, Colômbia, Costa Rica, Espanha, Estados Unidos, França, Grécia, Israel, Itália, Japão, Malásia, México, Nova Zelândia, Paraguai, Polônia, Portugal e República Checa.

Sendo assim, a presente revisão bibliográfica tem como objetivo analisar e compreender a relação entre o advento da soja transgênica e a seleção de plantas daninhas resistentes e/ou tolerantes ao glyphosate. Desta forma, também explorar os efeitos nocivos que o mau uso do herbicida pode acarretar e, assim, contribuir com informações técnicas para que o herbicida não perca seu mecanismo de ação sobre as plantas daninhas.

2 METODOLOGIA

O presente trabalho baseia-se em uma revisão bibliográfica, focalizando informações exploradas em livros, artigos científicos, circulares técnicos, dados Scientific Electronic Library Online (SciELO), revistas da área agrária, teses, entre outras fontes analisadas. “A pesquisa bibliográfica é elaborada com base em material já publicado. Tradicionalmente, esta modalidade de pesquisa inclui material impresso, como livros, revistas, jornais, teses, dissertações e anais de eventos científicos” (GIL, 2010, p. 29). A pesquisa será de caráter exploratório acerca da soja transgênica, resistência e tolerância a plantas daninhas ao glifosato.

Com base nos levantamentos bibliográficos, foram construídas argumentações por meio das palavras-chave: Pressão de seleção, Biótipo e Resistência. Para que esta revisão seja inovadora, os artigos selecionados foram os mais atualizados possíveis, porém não se restringindo em buscar informações relevantes em trabalhos mais antigos, rebuscando entre os anos de 2000 a 2022.

3 RESISTÊNCIA E A TOLERÂNCIA DE PLANTAS DANINHAS

3.1 Glyphosate no Brasil versus pressão seletiva em plantas daninhas

O uso do herbicida teve um alto crescimento mediante ao uso da tecnologia da soja resistente ao princípio ativo, e também a sua eficiência no controle de plantas invasoras. “A molécula de glifosato, N-(fosfometil) glicina, foi sintetizada em 1950 pelo químico Henri Martin, da empresa farmacêutica Cilag” (VILELA, 2021, p.09). Um tempo depois, a molécula passou a ser visada por pesquisadores da companhia Monsanto. “Na década de 1970, o químico John Franz, da Monsanto, desenvolveu herbicidas à base de glifosato” (VILELA, 2021, p.09).

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. (VILELA, 2021, p.09).

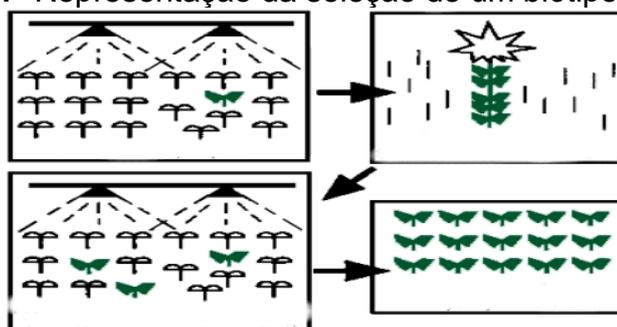
O produto teve uma boa aceitação mediante a praticidade no controle das plantas daninhas, isso devido à eficiência sobre a maioria das espécies daninhas. As tecnologias servem de suporte, uma ferramenta a mais que auxilia na produção agrícola. “A eficiência de controle deste produto, a facilidade de seu uso e a flexibilidade na aplicação são características que lhe conferem grande diferencial quando comparado aos herbicidas convencionais” (GAZZIEIRO, 2016, p.13).

Conforme Gazzieiro (2016), o uso contínuo de um mesmo produto induz a pressão de seleção, algumas plantas daninhas podem conter biótipos que apresentam a mesma carga genética, mas se diferenciam quanto à característica de resistência a um químico.

Como exemplo de plantas daninhas tolerantes aos herbicidas temos espécies como trapoeraba (*Commelina spp.*), corda-de-viola (*Pomoea spp.*) erva-quente (*Spermacoce latifolia*) e poaia-branca (*Richardia brasiliensis*), que apresentam níveis diferenciados de TOLERÂNCIA aos herbicidas inibidores da enzima EPSPs (glyphosate), enquanto buva (*Conyza spp.*), capim-amargoso (*Digitaria insularis*) e azevém (*Lolium multiflorum*), dentre outras, eram sensíveis e adquiriram resistência ao mesmo grupo herbicida. [KARAM, *et al.*, 2018, p. 903]

As plantas que sobrevivem ao tratamento do herbicida se reproduzem e, nos anos seguintes, o número de plantas resistentes serão maiores, até que, por fim, perdure na área somente aquelas que não são mais controladas com o produto que a selecionaram e já não faz efeito sobre elas.

Figura 01- Representação da seleção de um biótipo resistente



Fonte: Vargas e Roman, (2006).

De acordo com Vargas e Roman (2006, p.17), “A teoria da evolução de Darwin, através da seleção natural, considerou o princípio da seleção, onde algumas formas apresentam maior sucesso na sobrevivência e reprodução do que outras”.

Para o glyphosate, na maioria dos casos, a mutação de bases nitrogenadas ocorre em geral na posição 106 do gene responsável pela produção da enzima EPSPs, onde um aminoácido Prolina é substituído por Alanina, Leucina, Serina ou Treonina ou pela dupla mutação na enzima, nas posições 102 e 106, onde uma Treonina é substituída por uma Isoleucina, e uma Prolina, por uma Serina. (BARROSO, 2017, p.05).

Há casos em que o glifosato até faz a inibição da enzima, mas não acompanha a superprodução de enzimas da planta. “Os biótipos resistentes possuem a habilidade de produzir mais EPSPs do que o glyphosate é capaz de inibir, conhecida como superexpressão gênica”. (CHRISTOFFOLETI, *et al.*, 2016, p.182).

Borgato e Netto (2016) afirmam que as plantas que possuem mecanismo de resistência apresentam uma menor translocação do herbicida nos tecidos vegetais, e retenção foliar, isso faz com que a quantidade do herbicida que atinge o alvo não seja capaz de causar efeitos fitotóxicos capaz de extinguir a planta, deste modo o produto fica estacionado nas folhas. “A planta daninha Buva (*Conyzabonariensis*) também possui a translocação diferencial como mecanismo de resistência ao glyphosate, uma vez que foi observado maior acúmulo de glyphosate nas folhas dos biótipos resistentes”. (BORGATO e NETTO, apud FERREIRA, *et al.*, 2016, p.53).

3.2 Soja transgênica e casos de resistências em plantas daninhas

Conforme Bastos (2020), a soja foi a primeira cultura transgênica a entrar no Brasil, ocorreu ainda de maneira ilegal, advinda da Argentina, porém já estava disponível nos EUA desde 1996, sendo liberada oficialmente em 2003 para plantio. De acordo com Albergoni (2004), apesar da proibição em setembro de 1998, muitos produtores de soja desrespeitaram essa decisão do Rio Grande do Sul, cultivavam o produto de forma ilegal fazendo com que houvesse uma expansão considerável dessa cultura. “[...] o Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA)

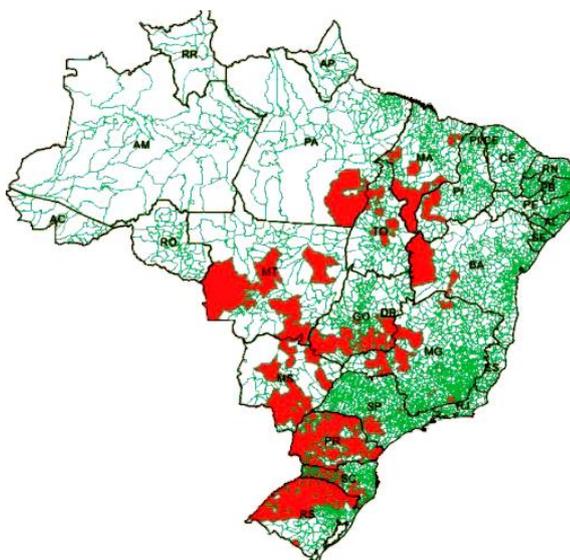
sancionou a Lei 10.814, a qual estabeleceu normas para o plantio e comercialização da produção de soja geneticamente modificada”. (BASTOS, 2020 p.13)

Com certa facilidade, em 2002, agricultores gaúchos entusiastas aos transgênicos obtiveram sementes RR na Argentina, onde a variedade é legal, bem como no Uruguai, e as plantaram na expectativa de que outros juízes se manifestassem favoráveis à comercialização daquele produto até a colheita. Estima-se que a soja transgênica vem sendo cultivada no Rio Grande do Sul desde 1997, mas, com a polêmica culminando somente em 2003. (SILVA, 2004, p. 5)

Com o cultivo irregular da soja transgênica no Brasil, entende-se que as técnicas adequadas ao manejo ainda eram desconhecidas pelos produtores. “A soja RR foi cultivada sem acompanhamento técnico e práticas de manejo adequado para proteção dessa tecnologia. O controle de plantas daninhas passou a ser executado quase que exclusivamente com glifosato”. (VARGAS, *et al.* 2016, p.221).

Segundo Karamet *al.* (2018, p.902), “No Brasil, os primeiros relatos de plantas daninhas resistentes ao glyphosate ocorreram em 2002, nos municípios de Tapejara e Capão Bonito (RS). No país, há uma percepção da presença de buva e capim-amargoso resistentes ao herbicida”. É possível perceber uma expressiva presença de plantas daninhas na região Sul do Brasil, mas nitidamente há muitos casos espalhados por vários estados.

Figura 02- Presença de plantas daninhas no Brasil, resistentes a herbicidas inibidores da EPSPs.



Fonte: XXXII Congresso Nacional de Milho e Sorgo (KARAM, 2018). Atualizado (2017).

No território nacional há 11 espécies que apresentam biótipos resistentes ao glifosato, sendo elas buva (*Conyzabonariensis*, *C. canadensis*, *C. sumatrensis*), capim-amargoso (*Digitaria insularis*), capim-pé-de-galinha (*Eleusine indica*), caruru (*Amaranthushybridus*), azevém (*Loliumperennessp. multiflorum*), caruru-palmeri (*Amaranthuspalmeri*), leiteiro (*Euphorbiaheterophylla*), capim-arroz (*Echinochloa cruz-galli var. cruz-galli*) e capim-branco (*Chloriselata*). (DA SILVA, *etal.*, 2021, p.08).

Sobre a pressão causada pelo glifosato em relação às plantas daninhas, Christoffoleti e López-Ovejero (2003) esclarecem que qualquer população pode sofrer uma variabilidade genética natural, ou seja, resultante do processo de evolução natural que acontece com baixa frequência. “Normalmente, a resistência se apresenta em manchas, aumentando a sua proporção com a aplicação repetitiva do herbicida, dominando finalmente a área”. (CHRISTOFFOLETI e LÓPEZ-OVEJERO, 2003, p.509). Ainda para o mesmo autor, o surgimento da resistência aos herbicidas é identificado, geralmente, quando 30% das plantas se mostram resistentes.

Para Christoffoleti e López-Ovejero (2003), não é qualquer planta daninha que tem potencial para sofrer uma pressão seletiva, existem quesitos, bem como: ciclo de vida curta, elevada produção de sementes, baixa dormência da semente, várias gerações reprodutivas por ano, extrema suscetibilidade a um determinado herbicida e grande diversidade genética. “Não existe, até o momento, nenhuma evidência de que os herbicidas tenham algum efeito mutagênico nas plantas capaz de induzir ou criar resistência”. Christoffoleti e López-Ovejero (2003, p.508). Os biótipos resistentes a herbicidas sempre estão presentes em baixa frequência numa espécie de planta daninha. “Então, quando o herbicida é aplicado ele atua como agente de pressão de seleção. Assim, as plantas suscetíveis morrem e as plantas resistentes sobrevivem e se reproduzem” (ALBRECHT, *et al.*, 2013, p.36).

Existe outro agravante no controle de plantas infestantes, denominada resistência múltipla. “A resistência múltipla ocorre quando um indivíduo possui um ou mais mecanismos que conferem resistência à herbicidas com mecanismo de ação diferente”. (BORGATO e NETTO, 2016, p.43).

No Brasil, os casos de resistência múltipla cresceram significativamente nos últimos anos [...] A exemplo, foram documentados biótipos de *Conyzasumatrensis* resistente a inibidores da ALS e ao glifosato e, mais recentemente, *Amaranthuspalmeri* resistente ao glifosato e a inibidores da ALS. (BORGATO e NETTO, 2016, p.43).

A resistência múltipla, por sua vez, é responsável por maior redução nas opções de controle químico, resultando em uma problemática de manejo, tornando inviável a utilização de herbicidas pertencentes aos mecanismos de ação. Deste modo, quanto mais resistências múltiplas, menos herbicidas eficazes no mercado.

No Paraná, ocorreu a seleção de buva resistente ao glifosato e inibidores da enzima acetolactatosintase ALS. Após a identificação de buva resistente ao glifosato, o controle das diferentes espécies de *Conyza* passou a ser realizado, de forma generalizada, com herbicidas inibidores da enzima ALS, especialmente clorimuron, resultando na seleção, em 2011, de biótipos de buva com resistência múltipla ao glifosato + ALS. Aindano Paraná foi identificado o primeiro caso de capim-amargoso (*Digitaria insularis*) resistente ao glifosato, na safra 2007/08. (VARGAS, *etal.*, 2016, p.222)

De acordo com Christoffoleti e López-Ovejero (2003), não é possível afirmar que não haverá seleção de populações de plantas daninhas resistentes ao glyphosate, embora seja o herbicida com maior volume de vendas no mundo e de uso constante, já por mais de 50 anos, isso porque “[...] em 1971 a Monsanto o descobriu como herbicida, em 1974 o produto Roundup foi lançado comercialmente” (VILLETTI, et al., 2014, p. 01), compreende-se, deste modo, que o mesmo vem sendo aplicado mundialmente em muitos sistemas de produção de forma repetitiva, selecionando apenas algumas populações de plantas daninhas resistentes, isso é possível perceber no quadro 01 a seguir.

Quadro 01- Ano de introdução de alguns herbicidas e ano da constatação do primeiro caso de resistência de um biótipo de uma espécie antes bem controlada

Herbicida	Introdução	Resistência	Anos para aparecimento	Países
2,4-D	1948	1957	9	EUA e Canadá
Triazinas	1959	1970	11	EUA
Paraquat	1966	1980	14	Japão
Inibidores da EPSPs	1974	1996	22	Austrália
Inibidores da ACCase	1977	1982	5	Austrália
Inibidores da ALS	1982	1984	2	Austrália

Fonte: Christoffoleti e López-Ovejero, (2003).

Inibidores da EPSPs foram introduzidos em 1974 na Austrália e constataram-se casos de resistência após 22 anos de uso, enquanto que inibidores da ALS foram introduzidos em 1982 e certificaram-se casos de resistência em 1984, ou seja, dois anos após. Isso ratifica a baixa capacidade de seleção de plantas daninhas comparado a outros herbicidas.

3.3 Impactos econômicos na produção de soja gerados pela resistência das plantas daninhas, sobretudo a inibidores da EPSPs

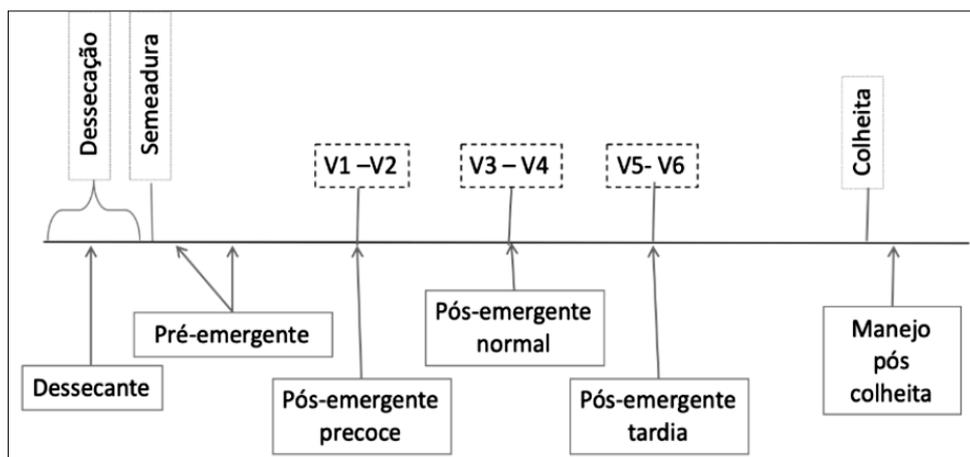
De acordo com Karam,*et al.* (2018), a resistência de plantas daninhas acarreta um aumento no custo da produção, isso porque se faz necessário o uso de produtos alternativos que muitas vezes têm custos mais elevados. “O custo com herbicidas alternativos é variável de acordo com a opção adotada, na maioria das vezes, existe mais do que uma possibilidade de produto para uso no manejo das populações resistentes”. (VARGAS, *et al.*, 2016, p.226).

Ressalta-se, conforme Adegas, *et al.* (2017), que o país com o maior número de casos de plantas daninhas resistentes ao glifosato é os Estados Unidos da América.

O impacto econômico da resistência de plantas daninhas na agricultura americana aumentou os custos de controle, nas áreas com problemas de resistência ao glifosato, em US\$ 50,34 ha⁻¹ em média, para a cultura do milho, e em US\$ 29,84 ha⁻¹ para a cultura da soja. (Adegas, *et al.*, 2017, p.07).

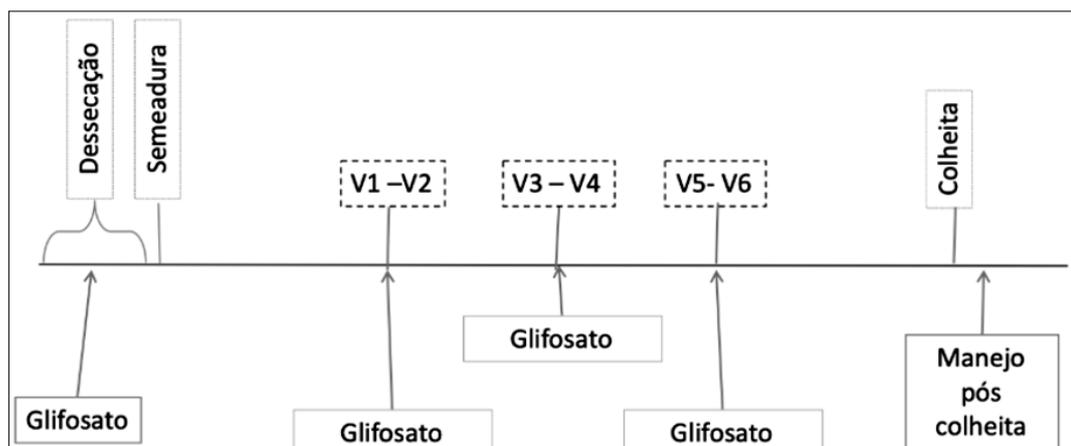
Com o aparecimento da soja transgênica houve uma expressiva redução no custo de produção com relação ao manejo do controle químico em soja convencional. Conforme SAUSEN, *et al.* (2020, p.23161), “a liberação do plantio da soja transgênica no Brasil na safra 2005/2006 trouxe notoriamente redução nos custos de produção, facilidade e simplicidade no manejo de plantas daninhas”.

Figura 03-Modelo de controle químico de plantas daninhas utilizado na cultura da soja convencional na safra 2005/2006.



Fonte: Biotecnologia aplicada ao manejo de plantas daninhas, Sausen, *et al.* (2020).

Figura 04-Modelo de controle químico de plantas daninhas utilizado na cultura da soja transgênica na safra 2005/2006.



Fonte: Biotecnologia aplicada ao manejo de plantas daninhas, Sausen, *et al.* (2020).

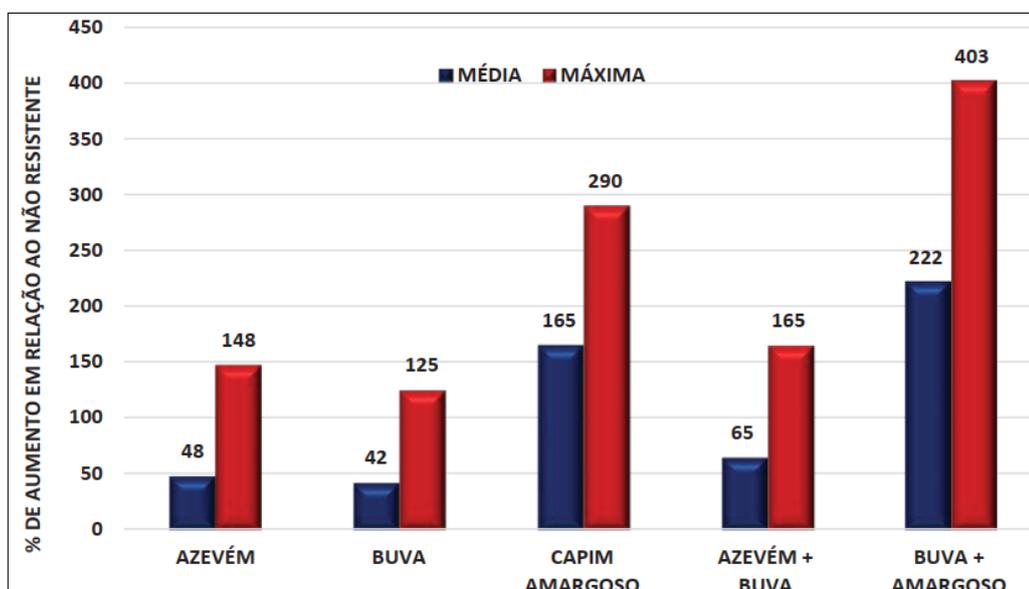
Nesse período 2005/2006, foi possível observar no plantio da soja transgênica a utilização de um menor volume dos diferentes tipos de herbicidas, além da ausência do efeito residual no solo, como ocorria com outros herbicidas. Contudo o uso intensivo desse herbicida possibilitou a seleção de outras espécies resistentes, “[...] são encontrados problemas com Azevém (*Lolium multiflorum*), Buva (*Conyza sp.*), Caruru (*Amaranthus palmeri*) e diferentes Capins (*Digitaria insularis*, *Chloris elata*, *Eleusine indica*) resistentes ao glifosato”. (SAUSEN, *et al.* 2020, p.23162).

De acordo com Adegas (2017), pesquisas mostram dados alarmantes acerca dos custos de produção em lavouras de soja com plantas daninhas resistentes ao glifosato no Brasil. Dentre todas as plantas daninhas, a buva tem assustado atualmente. Para Danet *et al.*, (2013, p.07), “na região Centro-Oeste, além de ocupar áreas destinadas a produção de grãos, a buva também infesta pastagens degradadas, tornando-se mais um gargalo para o setor pecuarista”.

Conforme Adegas *et al.* (2017), mediante as análises de variação percentual relativas ao custo de controle, é possível verificar o grande aumento dos custos em lavouras com a presença de plantas daninhas resistentes ao glifosato. “[...] em média, entre 42% e 48%, para as infestações isoladas de buva e azevém, respectivamente, e até 165%, com a presença de capim-amargoso.” (ADEGAS *et al.*, 2017, p.07).

O gráfico a seguir mostra a estimativa do aumento percentual do custo do controle de plantas daninhas (R\$/ha), em áreas de soja com presença de diferentes populações de plantas daninhas resistentes aos inibidores da EPSPs, comparado a áreas sem resistência.

Gráfico 01- Estimativa do aumento percentual do custo do controle de plantas daninhas (R\$/ha)



Fonte: Circular Técnica, Adegas, *et al.*, (2017).

Para situações de presença de azevém e buva o custo médio aumentou 65% em comparação com áreas sem resistência, sendo o maior incremento

de 165%. A pior situação em relação aos custos de controle ocorre em situações de infestação mista de buva e capim-amargoso, com aumento médio de 222%, e em casos extremos (alta infestação e plantas bem desenvolvidas) podendo atingir o montante de 403% de aumento dos custos de controle. (ADEGAS, *et al.*, 2017, p.07).

Sausen *et al.* (2020) ressalta que resistência de plantas daninhas a herbicidas pode acarretar restrição da utilização dos herbicidas de ação total, perdas de rendimento e qualidade dos produtos que até então eram eficazes, sendo necessário dispor de maiores custos.

O quadro a seguir mostra a estimativa do custo do controle na cultura da soja, atualizado em 2017, de populações isoladas ou mistas de azevém, buva e capim-amargoso, com resistência isolada ao glifosato e múltipla também para os inibidores da ALS e ACCase.

Quadro 02-Estimativa do custo do controle na cultura da soja

SITUAÇÃO DA RESISTÊNCIA A EPSPs	MÍNIMO ¹ (R\$ ha ⁻¹)	MÁXIMO ¹ (R\$ ha ⁻¹)	MÉDIO ¹ (R\$ ha ⁻¹)
SEM RESISTÊNCIA	95,40	144,60	120,00
AZEVÉM	118,60	236,70	177,65
BUVA	126,20	214,80	170,50
CAPIM-AMARGOSO	264,40	372,30	318,35
AZEVÉM + BUVA	141,90	253,20	197,55
BUVA + CAPIM AMARGOSO	293,80	479,50	386,65

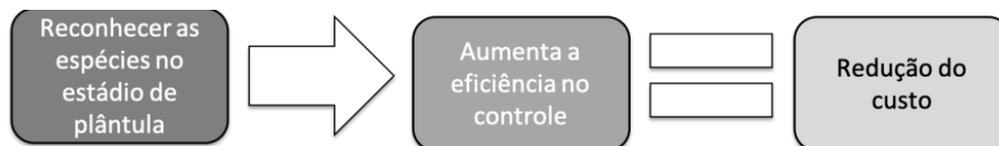
Fonte: Circular Técnica, Adegas, *et al.*, (2017).

3.4 Estratégias de manejo que visam prevenir casos de resistência

São notáveis as benfeitorias que a biotecnologia pode proporcionar em relação à escala de produção, bem como facilidade e simplicidade no manejo. De acordo com Adegas, *et al.* (2017), a Embrapa tem monitorado periodicamente áreas infestadas por plantas daninhas resistentes a herbicidas nos sistemas de produção de grãos no Brasil. Teve início, em 2010, o “projeto Identificação e caracterização de plantas daninhas resistentes ao herbicida glyphosate no Brasil, sendo associado atualmente ao projeto Manejo integrado de plantas daninhas resistentes a herbicidas nos sistemas de produção de soja” (ADEGAS, *et al.*, 2017, p.08). “O controle se

torna mais eficaz quando a identificação das plantas daninhas ocorre de forma precoce”. (SAUSEN, *et al.*, 2020, p. 23154).

Figura 05- Estratégia para garantir o sucesso no controle de plantas daninhas.



Fonte: Biotecnologia aplicada ao manejo de plantas daninhas, Sausen, *et al.*, (2020)

Para Sausen, *et al.*, (2020) O programa de manejo precisa se adequar situações diferenciadas encontradas no campo, contemplando métodos como: **cultural** (uso de sementes certificadas, espaçamentos adequados, densidade de plantio mais alta), **mecânica** (capina, roçada), **física** (manejo com fogo, cobertura do solo), **biológica** (inimigos naturais, animais de pastejo) e **química** (herbicidas pré-plantio, pré-emergência, pós-emergência e para dessecação).

Segundo Nicolai e Christoffoleti (2016), quando se explora sistemas que pouco se diferenciam as culturas, bem como soja e milho, facilita a resistência de plantas daninhas. Este fato pode ser observado com mais frequência na cultura da soja em que plantas daninhas resistentes aos herbicidas inibidores da acetolactatosintase (ALS), da acetil-CoA carboxilase (ACCase) e da enol-piruvil-shiquimato-fosfato-sintase EPSPs tem mais frequência.

Para um manejo adequado, faz-se necessário adotar a dessecação como etapa primordial, que pode ser dividida em duas etapas espaçadas de duas semanas. Segundo Nicolai e Christoffoleti (2016), na primeira é o glifosato o protagonista, tornando a área semeável, eliminando a cobertura vegetal que dificulta a semeadura, auxiliado pelo 2,4-D ou herbicidas inibidores da PROTOX, como saflufenacil, flumioxazina e carfentrazone. Na segunda, fazer uma sequencial com herbicidas de contato como diquat, ou amônio glufosinato, estes complementarão a ação do glifosato sobre as plantas entouceiradas ou de difícil controle. Seja junto com o glifosato ou na segunda etapa da dessecação, a inserção de produtos residuais como chlorimuron, metribizun, atrazina, imazethapyr, flumioxazina, diclosulan, sulfentrazone, clomazone, s-metolachlor e outros ajudam na dianteira competitiva sobre as plantas daninhas.

No manejo, vale ressaltar que o estágio da planta interfere no seu controle eficaz. “As aplicações dos herbicidas nos biótipos resistentes devem preferencialmente em plantas com 5 a 10 cm, pois esta infestante rebrota com muita facilidade” (GAZZIERO, 2014, p.232).

Para Nicolai e Christoffoleti (2016), o uso de glifosato em pós-emergência da cultura de soja, por mais que haja confirmação de plantas resistentes, ainda é uma ferramenta indispensável, pois maneja muitas espécies infestantes, além de controlar problemas como: picão-preto (*Bidens pilosa / subalternans*), o capim-marmelada (*Brachiariaplantaginea*), o capim-colchão (*Digitaria ciliaris*) e o amendoim-bravo (*Euphorbiaheterophylla*), considerados resistentes aos herbicidas inibidores da acetolactatosintase (ALS) ou acetil-CoAcarboxilase (ACCCase).

A pós-colheita da cultura da soja ou do milho, precisa ser incrementada com rotação de culturas e plantas de cobertura do solo, numa tentativa de evitar a produção de sementes de plantas daninhas, resistentes ou não em áreas de pousio. “A presença de uma camada de palha na superfície do solo exerce efeitos físicos, além de servir como uma barreira natural, que dificulta ou impede a emergência das plântulas quando ocorre germinação” (BORGES *et al.*, 2014, p.756).

4 DISCUSSÃO SOBRE A TOLERÂNCIA DA SOJA AO ROUNDUP EM RELAÇÃO A RESISTÊNCIA DE PLANTAS DANINHAS

Com base nos estudos relativos sobre a resistência de plantas daninhas e o advento da soja tolerante ao Roundup Ready (RR), a soja foi a primeira cultura geneticamente modificada liberada no Brasil. Para Sausen, *et al.*, (2020) aconteceu com o objetivo de reduzir custos e facilitar o manejo associado ao glifosato. Para Gazzieiro (2016) e Karam, *et al.* (2018), o uso de um mesmo mecanismo de ação durante um longo período pode trazer prejuízos como a perda da tecnologia para o manejo; isso ocorre devido a pressão que induz a resistência. Borgato e Netto (2016) e Barroso (2017) ainda salientam que estes biótipos sofrem uma mudança genética em decorrência de trocas na sequência de nucleotídeos do material, isso faz com que o herbicida seja incapaz de causá-los efeitos fitotóxicos, devido a mutação de bases nitrogenadas, ou a superexpressão gênica, em que a planta produz mais enzimas do que o glifosato seja capaz de inibir.

Em contrapartida Christoffoleti e López-Ovejero (2003) ressalta que o herbicida em questão vem sendo aplicado mundialmente de forma repetitiva e ainda tem selecionado apenas algumas populações, argumentando que seleção de biótipos resistentes tem ocorrido para todas as classes de herbicidas, embora alguns mecanismos de ação tenham selecionado biótipos resistentes com mais frequência que outros, tendo em vista que os herbicidas não tenham efeito mutagênico nas plantas. Podemos analisar os dados da no quadro 01, bem como a introdução de alguns herbicidas e ano da constatação do primeiro caso de resistência de um biótipo de uma espécie antes bem controlada. Mediante os dados da revisão bibliográfica podemos comparar inibidores de EPSPs com o primeiro caso de resistência 22 anos depois e inibidores da ALS com resistência constada dois anos após a introdução do herbicida.

Em nível nacional Da Silva, *et al.* (2021) relata dados atualizados de onze espécies de biótipos resistentes, sendo mais expressivo na região Sul. Conforme Vargas, *et al.*, (2016) estima-se que a relevância de maiores ocorrências no Sul do país seja pela entrada da soja transgênica de forma ilegal, com rumores desde o ano de 1997. A resistência múltipla também pode acontecer não se limitando a resistência simples de apenas um mecanismo de ação. Borgato e Netto (2016) relatam espécies expressivas como de buvas e caruru resistentes a inibidores de PSPs e ALS.

Para um melhor aproveitamento das tecnologias disponíveis, como o herbicida glifosato e soja (RR), faz-se necessário adotar técnicas de manejos eficientes. Nepumuceno (2007) e Vargas Roman (2006) afirmam que boas práticas podem melhorar a qualidade dos grãos e evitar outros problemas como o inóculo de pragas e doenças. Para Sausen, *et al.*, (2020), o uso de glifosato além de simplificar o manejo não deixa efeito residual no solo, como os demais herbicidas.

Os autores Adegas, *et al.*, (2017) e Sausen (2020) ressaltam sobre os custos em áreas com infestação de plantas daninhas resistentes ao glifosato, que vão de 48% podendo chegar até 403 % mais oneroso do que uma área em que não há biótipos resistentes, pois precisam de produtos alternativos para o manejo.

No tocante a questão de manejo, Sausen, *et al.*, (2020), Christoffoleti, *et al.*, (2016) e Nicolai e Christoffoleti (2016) defendem o uso de sementes de qualidade, a definição de orientações espaciais de semeadura, sementes certificadas, bem como

pré-emergentes e pós-emergentes com herbicidas alternativos associados ao glifosato, e não menos importantes as estratégias de manejo integrado de plantas daninhas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De certa forma podemos concluir que a soja transgênica contribuiu com a pressão e seleção de novos biótipos de plantas daninhas resistentes. De acordo com o histórico, acelerou o processo devido ao uso contínuo e quase que exclusiva de inibidores da enzima EPSPs. Todas as tecnologias são de suma importância para o contexto agrícola atual, bem como as tecnologias centrais desse trabalho, o glifosato e a soja transgênica, frutos de intensas pesquisas durante anos. Deste modo, tanto engenheiros agrônomos quanto produtores rurais precisam atentar-se para um manejo adequado para que esses recursos criados tenham duração a longos anos e não percam sua eficiência rapidamente. São notáveis os impactos econômicos gerados pela resistência ao herbicida, pois se tornam mais difíceis das plantas daninhas serem controladas, necessitando desse modo de ações diferentes utilizados isoladamente ou associados ao glifosato.

Evidencia-se a necessidade de manejos integrados de plantas daninhas para a prevenção de novos biótipos resistentes, lembrando que o glifosato ainda é uma ferramenta indispensável, pois controla uma série de espécies infestantes, inclusive plantas resistentes a inibidores da ALS ou ACCase. No futuro, certamente haverá novos casos de resistências, um fator considerável são as resistências múltiplas que deverão tornar-se mais comuns devido à constante pressão de seleção. Sendo assim, os estudos científicos destas asserções serão de grande valia para novas perspectivas tecnológicas e a prudência quanto a sua utilização. Outra sugestão seria criar defensivos utilizando outros mecanismos de ação eficazes, visando a sustentabilidade.

REFERÊNCIAS

ADEGAS, F. S. *et al.* **Impacto econômico da resistência de plantas daninhas a herbicidas no Brasil.** 2017.

ALBRECHT, Leandro Paiola. **Manejo de cultivos transgênicos.** / Leandro Paiola Albrecht, Robson Fernando Missio (editores). – Palotina, PR: (s.n.), 2013. 139 p.

BARROSO, Arthur Arrobas Martins. **Impacto da resistência ao glyphosate em genótipos de azevém e de capim-pé-de-galinha** / Arthur Arrobas Martins Barroso-Jaboticabal- Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2017.

BASTOS, Giovanna Dalmo Barros. **A Tecnologia RR na produção da soja.** (Trabalho de Conclusão de Curso) - Universidade Federal de Uberlândia, Campus Monte Carmelo, 2020.

BORGATO, Ednaldo Alexandre; NETTO, Acácio Gonçalves. **Resistência múltipla e cruzada: casos no Brasil e mecanismos de resistência de plantas daninhas a herbicidas/** coordenação de Pedro Jacob Christoffoleti e Marcelo Nicolai. 4ª ed. Piracicaba: ESALQ, 2016.

BORGES, Wander Luis Barbosa *et al.* Supressão de plantas daninhas utilizando plantas de cobertura do solo. **Planta daninha**, Viçosa-MG, v. 32, p. 755-763, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pd/a/XRyBGBYvYZsTJRdwMhyLz9b/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 22 de nov. 2022.

CHRISTOFFOLETI, Pedro Jacob. *et al.* Resistência de plantas daninhas a herbicidas inibidores da EPSPs (Grupo G). **Aspectos de resistência de plantas daninhas a herbicidas/** coordenação de Pedro Jacob Christoffoleti e Marcelo Nicolai. 4ª ed. Piracicaba: ESALQ, 2016.

CHRISTOFFOLETI, P. J.; LÓPEZ-OVEJERO, R. Principais aspectos da resistência de plantas daninhas ao herbicida glyphosate. **Planta daninha**, v. 21, n. 3, p. 507-515, 2003.

COSSETIN, Marcos Roberto; DURANTE, Marisa Claudia Jacometo. SOJA TRANSGÊNICA NO BRASIL: Aspectos Positivos e Negativos. **Adução orgânica e mineral em variedade de feijão preto.** Mostra de iniciação Científica, 2018- Lucas do Rio Verde, p. 573. Disponível em: <https://www.unilasalle.edu.br/uploads/files/dd4e36602464ffe13dcfca2fe0b8eaec.pdf#page=65>. Acesso em: 22 de nov. 2022.

DA SILVA CARPEJANI, Meirielly; OLIVEIRA JR, Rubem Silvério. Manejo químico de capim-amargoso resistente a glyphosate na pré-semeadura da soja. In: **Revista Campo Digital**, v. 8, n. 1, 2013.

DA SILVA, A. F. *et al.* Monitoramento de plantas daninhas resistentes ao glifosato no Brasil / Alexandre Ferreira da Silva ... [et al.]. – Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2021. 18 p.: il. (**Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento** / Embrapa Milho e Sorgo, ISSN 1679- 0154; 234), (21 ed.).

DAN, H. A. *et al.* Histórico da infestação de buva resistente a herbicidas no mundo e no Brasil. Constantin J., Oliveira Júnior RS, Oliveira Neto AM. **Buva: Fundamentos e recomendações para manejo**. Curitiba: Omnipax, p. 22-6, 2013.

DEGANI, Pamella Cristina *et al.* Inovação em cultivares: panorama das proteções e registros da soja no Brasil. In. **Navus:Revista de Gestão e Tecnologia**, n. 11, p. 1-16, 2021.

GAZZIERO, D. L. P.; ADEGAS, F. S.; VOLL, Elemar. Glifosate e a soja transgênica. **Embrapa Soja-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, Londrina- PR, setembro, 2008. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/470942/1/circotec60.pdf>. Acesso em: 20 de out. 2022.

GAZZIERO, D. L. P. *et al.* A era glyphosate. **Embrapa Trigo-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2016. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1048102/1/ID436782016cap1LVglyphosate.pdf>. Acesso em: 17 de set. 2022.

GAZZIERO, DLP, *et al.* "Resistência das plantas daninhas." In: **Congresso nacional de milho e sorgo, 30., simpósio sobre lepdópteros comuns a milho, soja e algodão**, 1., 2014, Salvador. Eficiência nas cadeias produtivas e o abastecimento global:[anais]. Sete Lagoas: ABMS, 2014. Cap. 21., 2014.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa/** Antônio Carlos Gil. – 5. Ed. – São Paulo: Atlas, 2010.

INOUE, Miriam Hiroko; DE OLIVEIRA JR, Rubem Silvério. Resistência de plantas daninhas a herbicidas. **Biologia e manejo de plantas daninhas. Curitiba- PR: Omnipax**, p. 193-213 (22. Ed.), 2011.

KARAM, Décio *et al.* Situação atual da resistência de plantas daninhas a herbicidas nos sistemas agrícolas. **Embrapa Milho e Sorgo-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2018. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1095417/1/Cap31Situacaoatual.pdf>. Acesso em: 12 de set. 2022.

MINOZZI, Guilherme B.; MONQUERO, Patricia A.; PEREIRA, Paulo A. Eficácia de diferentes manejos das plantas daninhas na cultura da soja transgênica. In: **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 9, n. 3, p. 406-412, 2014.

NEPOMUCENO, M. *et al.* Períodos de interferência das plantas daninhas na cultura da soja nos sistemas de semeadura direta e convencional. In: **Planta Daninha**, v. 25, n. 1, p. 43-50, 2007.

NICOLAI, Marcelo; CHRISTOFFOLETI, Pedro Jacob. Aspectos gerais do manejo de plantas daninhas resistentes a herbicidas nos sistemas de produção envolvendo as culturas de milho e soja. **Aspectos de resistência de plantas daninhas a herbicidas**/coordenação de Pedro Jacob Christoffoleti e Marcelo Nicolai. 4ª ed. Piracicaba: ESALQ, 2016.

PELAEZ, Victor; ALBERGONI, Leide. Barreiras técnicas comerciais aos transgênicos no Brasil: a regulação nos estados do sul. **Indicadores econômicos FEE**, v. 32, n. 3, p. 201-230, 2004.

SAUSEN, Darlene et al. Biotecnologia aplicada ao manejo de plantas daninhas. In: **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 5, p. 23150-23169, 2020.

SILVA, Ana Paula. Soja transgênica: informação política e econômica em detrimento da científica. In: **Trabalho apresentado em XLII Congresso Nacional de Economia e Sociologia Rural, Cuiabá**. 2004.

VARGAS, Leandro; GAZZIERO, Dionisio. Manejo de plantas daninhas tolerantes e resistentes ao glyphosate no Brasil. **Factores que pueden afectar la efectividad del herbicida glifosato**, p. 70, 2008. Disponível em: https://www.rapaluruquay.org/sitio_1/glifosato/Viabilidad_Glifosato.pdf#page=74. Acesso em: 10 de out. 2022

VARGAS, Leandro *et al.* Resistência de plantas daninhas a herbicidas no Brasil: histórico, distribuição, impacto econômico, manejo e prevenção. 2016. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1048114>. Acesso em: 12 de nov. 2022.

VARGAS, Leandro; ROMAN, Erivelton Scherer. Resistência de plantas daninhas a herbicidas: conceitos, origem e evolução. **Embrapa Trigo-Documentos (INFOTECA-E)**, agosto, 2006. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/852512/1/pdo58.pdf>. Acesso em: 07 de out. 2022.

VILELA, Mylena *et al.* **Análise de estudos publicados sobre o herbicida glifosato no contexto da química ambiental**. TCC (Graduação em Licenciatura em Química) Instituto Federal Goiano, Campus Ceres, 2021.

VILLETTI, L. Henrique, *et al.* A história do herbicida glyphosate na evolução do Sistema Plantio Direto- **14º encontro nacional de plantio direto na palha**, 12 a 14 de agosto de 2014- Bonito, MS. Disponível em: <https://febrapdp.org.br/14enpdp/cd-14enpdp/Resumos/01.pdf>. Acesso em: 22/11/2022.