



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**CARACTERIZAÇÃO AGRONÔMICA DE PROGÊNIES DE SOJA  
CONTENDO ALELOS PARA TOLERÂNCIA A HERBICIDAS DAS  
SULFONILURÉIAS**

**ÉDER EDUARDO MANTOVANI**

**TESE DE DOUTORADO EM AGRONOMIA**

**BRASÍLIA/DF**  
**AGOSTO/2017**



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**CARACTERIZAÇÃO AGRONÔMICA DE PROGÊNIES DE SOJA  
CONTENDO ALELOS PARA TOLERÂNCIA A HERBICIDAS DAS  
SULFONILURÉIAS**

**ÉDER EDUARDO MANTOVANI**

**ORIENTADORA: NARA OLIVEIRA SILVA SOUZA**  
**CO-ORIENTADORA: MARIA APARECIDA DOS SANTOS**

**TESE DE DOUTORADO EM AGRONOMIA**

**PUBLICAÇÃO: 059D/2017**

**BRASÍLIA/DF**  
**AGOSTO/2017**



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**CARACTERIZAÇÃO AGRONÔMICA DE PROGÊNIES DE SOJA  
CONTENDO ALELOS PARA TOLERÂNCIA A HERBICIDAS DAS  
SULFONILURÉIAS**

**ÉDER EDUARDO MANTOVANI**

**TESE DE DOUTORADO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
AGRONOMIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO  
DO GRAU DE DOUTOR EM AGRONOMIA.**

**APROVADA POR:**

---

**NARA OLIVEIRA SILVA SOUZA, Dra. Melhoramento Genético/ Universidade de Brasília/  
033.300.726-36/ narasouza@unb.br**

---

**MARIA APARECIDA DOS SANTOS, Dra. Melhoramento Genético/ DuPont Pioneer/  
017.922.699-19/ maria.santos@pioneer.com**

---

**CARLOS ROBERTO SPEHAR, Dr. Melhoramento Genético/ Universidade de Brasília/  
122.262.116-91/ spehar@unb.br**

---

**JOSÉ RICARDO PEIXOTO, Dr. Fitotecnia/ Universidade de Brasília/ 354356236-34/  
peixoto@unb.br**

**BRASÍLIA/DF, 25 de agosto de 2017.**

## FICHA CATALOGRÁFICA

MANTOVANI, Éder Eduardo.

“CARACTERIZAÇÃO AGRONÔMICA DE PROGÊNIES DE SOJA CONTENDO ALELOS PARA TOLERÂNCIA A HERBICIDAS DAS SULFONILURÉIAS”. Orientação: Nara Oliveira Silva Souza, Brasília 2017. 92 páginas.

Tese de Doutorado – Universidade de Brasília / Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2017.

1. *Glycine max* L. 2. *Als1*. 3. *Als2*. 4. Produtividade de grãos. 5. Resistência.

I. Souza, N.O.S. II. Dra

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MANTOVANI, E.E. **Caracterização agronômica de progênies de soja contendo alelos para tolerância a herbicidas das sulfoniluréias**. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2017, 92 páginas. Tese.

## CESSÃO DE DIREITOS:

NOME DO AUTOR: ÉDER EDUARDO MANTOVANI

TÍTULO DA TESE: “CARACTERIZAÇÃO AGRONÔMICA DE PROGÊNIES DE SOJA CONTENDO ALELOS PARA TOLERÂNCIA A HERBICIDAS DAS SULFONILURÉIAS”

GRAU: DOUTOR ANO: 2017

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta tese de doutorado para única e exclusivamente propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva para si os outros direitos autorais, de publicação. Nenhuma parte desta tese de doutorado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor. Citações são estimuladas, desde que citada à fonte.

Nome: Éder Eduardo Mantovani

CPF: 325481248-43

Endereço: SQN 312, Bloco K, apt. 210, CEP 70765-110, Asa Norte, Brasília – DF

Tel.: 61-98175-4959 E-mail: [eder.mantovani@pioneer.com](mailto:eder.mantovani@pioneer.com) e/ou [dumantovani@yahoo.com.br](mailto:dumantovani@yahoo.com.br)

Dedico a minha esposa Monalisa de Queiroz Almeida e  
aos meus pais Segundo Mantovani e Ida Cazeta Mantovani

## AGRADECIMENTOS

A minha esposa Monalisa, presente em todos os momentos dessa caminhada, pela amizade, amor, carinho e apoio durante a demanda extra exigida pelo curso.

Aos meus pais Segundo e Ida, Penha, as irmãs Bete e Bel, aos irmãos Carlos, Marcos, Laércio, José e Thiago, e suas famílias pelos momentos de descontração e suporte durante o curso.

A DuPont Pioneer e aos meus supervisores Luis Stabile, Luis Prado, Jeff Hegstad, Julian Chaky, Mauricio Kobiraki, Matheus Reis e Gabriel Castro pela oportunidade, incentivo ao meu ingresso no curso e disponibilidade de tempo para que esse sonho se tornasse realidade.

A minha orientadora Dra. Nara Oliveira Silva Souza pela orientação, amizade e apoio durante os momentos de maior necessidade durante o curso.

Aos membros da banca Dra. Maria Aparecida dos Santos, Dr. Carlos Roberto Spehar e Dr. José Ricardo Peixoto pela cooperação, incentivo e auxílio no processo de melhoria desse trabalho.

Aos colegas da pesquisa da DuPont Pioneer que auxiliariam e contribuíram na condução dos experimentos.

Aos amigos Vinícius e Adriana que me acompanharam e compartilharam momentos de felicidade durante o curso.

Gostaria de expressar meu sincero agradecimento a todos que cooperaram e proporcionaram esse momento especial em minha vida.

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	xi
RESUMO.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
1. INTRODUÇÃO GERAL .....	1
2. OBJETIVOS.....	3
2.1. Objetivo geral .....	3
2.2. Objetivos específicos.....	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	4
3.1. Soja .....	4
3.2. Impacto de plantas daninhas na cultura da soja.....	6
3.3. Mecanismos de ação de herbicidas .....	8
3.4. Controle químico de plantas daninhas na cultura da soja .....	10
3.5. Melhoramento de soja para tolerância a herbicidas .....	12
3.6. Cultivares de soja contendo os alelos <i>A/s1</i> e <i>A/s2</i> .....	13
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	14
CAPÍTULO 1 - CARACTERIZAÇÃO DE PROGÊNIES DE SOJA CONTENDO OS ALELOS <i>A/s1</i> E <i>A/s2</i> PARA TOLERÂNCIA A HERBICIDAS DAS SULFONILURÉIAS .....	19
RESUMO .....	20

ABSTRACT.....	21
1. INTRODUÇÃO.....	22
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	25
2.1. Obtenção de famílias.....	25
2.2. Avaliação de campo .....	27
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	31
4. CONCLUSÃO .....	45
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	46
CAPÍTULO 2 – REAÇÃO DE PROGÊNIES DE SOJA CONTENDO OS ALELOS <i>A/s1</i>	
E <i>A/s2</i> PARA RESISTÊNCIA A HERBICIDA DO GRUPO DAS SULFONILURÉIAS	
RESUMO .....	53
ABSTRACT.....	54
1. INTRODUÇÃO.....	55
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	59
2.1. Desenvolvimento das progênies.....	59
2.2. Experimento de avaliação .....	61
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	65
4. CONCLUSÃO .....	74
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	75

## LISTA DE TABELAS

### REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Tabela 1. Classificação de herbicidas com base no seu mecanismo de ação segundo Herbicide Resistance Action Committee (HRAC) .....	8
Tabela 2. Cultivares comerciais registrados como resistentes aos herbicidas do grupo das sulfoniluréias e empresas detentoras .....	13

### CAPÍTULO 1 - CARACTERIZAÇÃO DE PROGÊNIES DE SOJA CONTENDO OS ALELOS *A/s1* E *A/s2* PARA TOLERÂNCIA A HERBICIDAS DAS SULFONILURÉIAS

Tabela 1. Número de progênies de cada classe genotípica e de cada população avaliadas em Palmas, TO no inverno de 2014 durante a geração F <sub>4</sub> .....	25
Tabela 2. Fluxograma do desenvolvimento das populações/progênies contendo ano de execução, geração, ação executada e local .....	26
Tabela 3. Número de progênies de cada classe genotípica e de cada população avaliadas nos experimentos de desempenho nos locais de Sorriso, MT e Planaltina, DF nas safras 2014/2015 e 2015/2016.....	27
Tabela 4. Análise de variância conjunta para blocos casualizados indicando o correto denominador do teste F para cada fonte de variação, tendo blocos e ambientes (anos x locais) como efeitos aleatórios e populações e classes genotípicas como fixos ...	30
Tabela 5. Teste de homogeneidade de variâncias de Bartlett ao nível de 0,005 de probabilidade e média harmônica dos graus de liberdade do erro de 335 para os experimentos em Sorriso e Planaltina (2014) e Planaltina (2015) .....	31
Tabela 6. Resumo da análise de variância conjunta das características avaliadas nos experimentos conduzidos em Planaltina, DF e Sorriso, MT nas safras 2014/2015 e 2015/2016.....	34
Tabela 7. Média das características avaliadas nos experimentos conduzidos em Planaltina (Plan), DF e Sorriso (Sorr), MT, nas safras 2014/2015 e 2015/2016. Para	

as características que apresentaram diferença significativa, aplicou-se o teste Tukey (p<0,05) ..... 35

## **CAPÍTULO 2 – REAÇÃO DE PROGÊNIES DE SOJA CONTENDO OS ALELOS *A1s1* E *A1s2* PARA RESISTÊNCIA A HERBICIDA DO GRUPO DAS SULFONILURÉIAS**

Tabela 1. Número de progênies de cada classe genotípica e de cada população avaliadas em Palmas, TO no inverno de 2014 ..... 59

Tabela 2. Fluxograma do desenvolvimento das populações/progênies contendo ano de execução, geração, ação executada e local ..... 60

Tabela 3. Número de progênies de cada classe genotípica e de cada população avaliada no experimento de efeitos do herbicida em Planaltina, DF na safra 2015/2016 ..... 60

Tabela 4. Metodologia para a avaliação dos danos causados pelo herbicida do grupo das sulfoniluréias no experimento conduzido em Planaltina, DF na safra 2015/2016 ..... 63

Tabela 5. Análise de variância para blocos casualizados com arranjo em parcelas subdividas indicando o correto denominador do teste F para cada fonte de variação, tendo todas as variáveis como efeitos fixos..... 64

Tabela 6. Resumo da análise de variância das características avaliadas no experimento conduzido em Planaltina, DF na safra 2015/2016..... 68

Tabela 7. Média das características avaliadas por classe genotípica, dose e interação dose x classe no experimento conduzido em Planaltina, DF na safra 2015/2016. Para as características que apresentaram diferença significativa, aplicou-se o teste Tukey (p<0,05) ..... 69

## LISTA DE FIGURAS

### **CAPÍTULO 1 - CARACTERIZAÇÃO DE PROGÊNIES DE SOJA CONTENDO OS ALELOS *Als1* E *Als2* PARA TOLERÂNCIA A HERBICIDAS DAS SULFONILURÉIAS**

Figura 1. Imagens registradas durante o plantio dos experimentos. a=plantio na estação de Sorriso em seis de novembro de 2014 e b=plantio na estação de Planaltina em 25 de novembro de 2015..... 28

Figura 2. Imagens registradas durante a fase vegetativa das progênies. a=fase vegetativa em Sorriso em novembro de 2014, b=fase vegetativa na estação de Planaltina em dezembro de 2014 e c,d=fase vegetativa na estação de Planaltina em dezembro de 2015..... 33

Figura 3. Imagens registradas em Planaltina na safra 2014/2015. a=Pop001 e b=Pop003 destacadas com linhas amarelas em março de 2015, c=Pop001 e d=Pop002 na fase de maturação em abril de 2015. .... 40

Figura 4. Imagens registradas na estação de Planaltina, em fevereiro de 2015, da Pop002 separando as classes genotípicas; nulas, *Als1*, *Als2* e *Als1+Als2*. .... 41

Figura 5. Imagens registradas em Planaltina na safra 2015/2016. a,b=vista frontal do experimento em janeiro de 2016 e c,d=experimento na fase de maturação sendo colhido em abril de 2016..... 41

### **CAPÍTULO 2 – REAÇÃO DE PROGÊNIES DE SOJA CONTENDO OS ALELOS *Als1* E *Als2* PARA RESISTÊNCIA A HERBICIDA DO GRUPO DAS SULFONILURÉIAS**

Figura 1. Imagens registradas no dia 27 de novembro de 2015 durante a aplicação do herbicida Ligate® do grupo das sulfoniluréias..... 62

Figura 2. Imagens da mesma progênie nula (quatro linhas centrais) do cruzamento 98Y30/CD250RRSTS nas quatro doses avaliadas registradas em 15 de janeiro de 2016. a=dose 0, b=dose X, c=dose 2X e d= dose 4X..... 70

## RESUMO

As sulfoniluréias estão classificadas no grupo de herbicidas que atuam bloqueando a síntese de aminoácidos essenciais através da inibição da enzima acetolactato sintase (ALS). A inibição dessa enzima interrompe a produção de proteínas, interferindo no crescimento celular e, conseqüentemente, ocasionando a morte da planta. Com o desenvolvimento de cultivares de soja contendo os alelos *Als1* e *Als2* que conferem tolerância a diferentes princípios ativos do grupo das sulfoniluréias, esse estudo teve como objetivos testar progênies de soja quanto à presença/ausência dos alelos *Als1* e *Als2* e avaliar o impacto agrônômico da adição desses alelos em campo sem a aplicação de herbicida do grupo das sulfoniluréias, e em um segundo experimento avaliar os efeitos da aplicação em pré-emergência do herbicida do grupo das sulfoniluréias em progênies de soja contendo os alelos *Als1* e *Als1+Als2* e comparar sua seletividade a progênies sem os alelos. Esses experimentos foram conduzidos nas estações experimentais da DuPont Pioneer de Planaltina, DF, safras 2014/2015 e 2015/2016, e de Sorriso, MT, safra 2014/2015. Foram avaliadas populações de soja com diferentes classes genótípicas quanto a presença/ausência dos alelos *Als1* e *Als2*. A comparação entre as classes foi feita através do uso de diversas características agrônômicas em campo com e sem a aplicação do herbicida das sulfoniluréias. Nos ensaios sem o uso do herbicida, as médias de produtividade em Planaltina e Sorriso safra 2014/2015 e em Planaltina 2015/2016 foram 2896, 2537 e 3264 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. A produtividade de grãos para as classes genótípicas nula, *Als1*, *Als2* e *Als1+Als2* foram 2826, 2837, 2685 e 2835 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente e não diferiram estatisticamente entre si. As demais características também apresentaram comportamento semelhante entre as classes. Nas progênies avaliadas, a adição dos alelos *Als1* e/ou *Als2* não ocasionou alterações significativas nas características agrônômicas avaliadas. No experimento com o uso do herbicida, a média de produtividade das classes *Als1* e *Als1+Als2*, 3692 e 3745 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, foram significativamente superiores à classe nula, 3554 kg ha<sup>-1</sup>, com diferença significativa entre as classes para todas as características, exceto avaliação da parcela. Isso indica a importância e a necessidade da presença dos alelos que conferem resistência, pois sob uso do herbicida as progênies que continham os alelos de resistência a sulfoniluréia foram estatisticamente superiores as progênies sem os alelos. Portanto, concluiu-se nesses experimentos que sem o uso do herbicida, o desempenho entre as classes do gene é semelhante e a adição dos alelos mutantes não altera o fenótipo das progênies de soja enquanto que sob uso do herbicida a presença dos alelos se torna crucial para o melhor desempenho da soja.

**Palavras-chave:** *Glycine max* L., *Als1*, *Als2*, produtividade de grãos, resistência.

## ABSTRACT

Sulfonylureas are classified in the herbicide group that acts by blocking the synthesis of essential amino acids by inhibiting acetolactate synthase enzyme (ALS). The inhibition of this enzyme disrupts the production of proteins, interfering with cell growth and consequently resulting in the death of the plant. With the development of soybean cultivars containing *Als1* and *Als2* alleles that confer tolerance to different active ingredients of sulfonylurea group, this study aimed to test different soybean progenies for the presence/absence of *Als1* and *Als2* alleles and evaluate the agronomic impact of these alleles addition in the field without sulfonylurea herbicide application, also in a second experiment, to evaluate the effects of pre-emergence sulfonylurea herbicide application in soybean progenies containing *Als1* and *Als1+Als2* alleles and compare their selectivity to progenies without the alleles. These experiments were conducted in experimental stations of DuPont Pioneer at Planaltina, DF, 2014/2015 and 2015/2016 seasons and at Sorriso, MT, 2014/2015 season. Soybean populations with different genotypic classes were evaluated for presence/absence of the *Als1* and *Als2* alleles. The comparison among classes were made using several agronomic traits in the field with and without sulfonylurea herbicide application. In the experiments without herbicide, the grain yield average at Planaltina and Sorriso 2014/2015 season and at Planaltina 2015/2016 were 2896, 2537 and 3264 kg ha<sup>-1</sup>, respectively. Yield for the genotypic classes null, *Als1*, *Als2* and *Als1+Als2* were 2826, 2837, 2685 and 2835 kg ha<sup>-1</sup>, respectively, and they were not statistically different from each other. Also, the other traits indicated similar behavior among classes. In the studied progenies, the addition of *Als1* and/or *Als2* alleles did not cause significant differences in the evaluated traits. While, in the experiment with herbicide application, the yield average of *Als1* and *Als1+Als2* classes, 3692 and 3745 kg ha<sup>-1</sup>, respectively, were significantly higher than the null class, 3554 kg ha<sup>-1</sup>, with significant difference among classes for all traits, except plot evaluation. This fact indicates the importance and necessity of alleles presence that confer resistance, since under herbicide application the progenies with the sulfonylurea resistant alleles were statistically superior than the progenies without the alleles. Therefore, it was concluded in these experiments that without the use of the herbicide, the performance among the gene classes is similar and the addition of the mutant alleles do not alter the phenotype in the soybean progenies, whereas under the herbicide application, the presence of the alleles becomes crucial for the soybean best performance.

**Key words:** *Glycine max* L., *Als1*, *Als2*, grain yield, resistance.

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

Com o desenvolvimento de cultivares transgênicos de soja, milho e algodão, contendo o gene de resistência ao herbicida glifosato, tem havido uso excessivo desse herbicida na agricultura nacional, ocasionando o surgimento de plantas daninhas resistentes ao glifosato. A seleção de plantas daninhas resistentes, tem tornado o manejo das lavouras mais complexo, exigindo o uso de outros herbicidas com diferentes modos de ação. Em alguns casos, quando a infestação das plantas daninhas resistentes é muito elevada, a alta competição com a cultura pode trazer prejuízos significativos diminuindo a lucratividade do produtor.

Portanto, esse cenário, de entrada de novos herbicidas no campo, exige o uso de produtos que controlem as plantas daninhas resistentes e que não afetem a cultura de interesse. Para isso, é de fundamental importância o uso de moléculas químicas que desempenhem essa função ou o desenvolvimento de novos cultivares que sejam resistentes a herbicidas já utilizados no mercado.

No caso da soja, o uso de cultivares resistentes aos herbicidas do grupo das sulfoniluréias pode ser mais uma ferramenta de auxílio para o agricultor no controle das plantas daninhas resistentes ao glifosato. Cresce o número de produtores brasileiros que utilizam o princípio ativo clorimuron etílico do grupo das sulfoniluréias no manejo das plantas daninhas. Entretanto, o uso de cultivares de soja resistentes a herbicidas desse grupo, possibilitará o produtor utilizar clorimuron etílico em maiores dosagens ou até mesmo outros princípios ativos desse grupo químico, auxiliando o manejo e aumentando a rotatividade de diferentes princípios ativos, retardando o desenvolvimento de plantas daninhas resistentes a glifosato.

A adição dos alelos mutantes *Als1* e *Als2*, tem conferido resistência a diferentes princípios ativos das sulfoniluréias. Porém não existem relatos sobre a adição desses alelos mutantes ocasionando alteração nos cultivares de soja como o impedimento da formação de proteínas essenciais ou a fusão de proteínas indesejáveis. Essas alterações podem resultar em fenótipos inadequados com menor expressão genética ou baixa produtividade.

Portanto, é de extrema importância que se realizem validações científicas para apurar se a adição desses alelos mutantes que conferem resistência a diferentes princípios ativos das sulfoniluréias afetam o fenótipo dos cultivares de soja. Ou seja, torna-se necessário a caracterização agronômica dos genótipos de soja que contenham os alelos *Als1* e *Als2*.

Outro aspecto de grande relevância é a avaliação do efeito das aplicações de herbicidas do grupo das sulfoniluréias em genótipos de soja que contenham os alelos mutantes *Als1* e *Als2* comparando-os com as versões sem os alelos mutantes.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. Objetivo geral

Avaliar e caracterizar agronomicamente progênies de soja contendo os alelos mutantes *A/s1* e *A/s2* tolerantes a herbicidas do grupo das sulfoniluréias.

### 2.2. Objetivos específicos

- Testar diferentes progênies de soja contendo os alelos mutantes *A/s1* e *A/s2* tolerantes a herbicidas do grupo das sulfoniluréias;

- Avaliar o impacto agronômico da adição dos alelos *A/s1* e *A/s2*;

- Examinar os efeitos agronômicos da aplicação em pré-emergência do herbicida do grupo das sulfoniluréias em progênies de soja contendo os alelos *A/s1* e *A/s1+A/s2*;

- Comparar a seletividade de progênies de soja contendo os alelos *A/s1* e *A/s1+A/s2* com progênies sem os alelos sob a presença do herbicida do grupo das sulfoniluréias.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. Soja

O aumento exponencial da demanda mundial por alimentos abriu espaço para o Brasil competir globalmente no mercado das exportações de commodities. Para atuar de forma relevante, a agricultura brasileira teve que desenvolver tecnologias que tem expandido as fronteiras produtivas. Isso permitiu que culturas, principalmente a soja [*Glycine max* (L.) Merrill] ganhasse escala, elevando o País ao patamar de potência agrícola (GRAZIANO DA SILVA, 1996; GASQUES et al., 2010).

A soja é uma cultura de grande importância econômica no cenário nacional. O grão e seus derivados são usados em diversas áreas. O farelo é amplamente utilizado e um dos pilares da ração animal, principalmente na alimentação de aves e bovinos. Os principais usos do óleo extraído do grão são para consumo humano e produção de gorduras hidrogenadas. Apesar do pequeno consumo de soja em grãos, esse segmento está aumentando em decorrência da ligação de seu consumo a hábitos alimentares saudáveis. Apesar da importância da soja no cenário mundial, cerca de 83 % da produção mundial de soja tem se limitado a três países; Estados Unidos, Brasil e Argentina com 34, 31 e 18 %, respectivamente (USDA, 2017).

A produção brasileira na safra 2015/2016 foi de 96,5 milhões de toneladas enquanto que a última safra foi de 104 milhões de toneladas o que corresponde a um aumento de 7,77 %. Apesar do aumento de cerca de 1,8 % da área plantada, passando de 33,3 para 33,9 milhões de hectares, o maior contribuinte para o aumento da produção foi a produtividade, que em 2015/16 foi de 2900 kg ha<sup>-1</sup> e em 2016/17 foi de 3070 kg ha<sup>-1</sup>, correspondendo a um avanço de 6,9 % (USDA, 2017).

Essa espécie que tem sua origem na China, começou a ser cultivada em território nacional apenas no século passado. Apesar de existir registros históricos que apontam para cultivos experimentais de soja na Bahia em 1882, a introdução da cultura no Brasil tem o ano de 1901 como marco principal com cultivos em estações experimentais e posteriormente sua distribuição para produtores. Em 1914, foi introduzida no Rio Grande do Sul e chegou ao Paraná em 1954. Porém teve impressionante desenvolvimento especialmente nas últimas três décadas e se tornou o principal produto agrícola gerando renda e empregos em sua cadeia de produção (ITO; TANAKA, 1993). Sua produção movimentou a economia em vários setores. Dentre estes destacam-se a aquisição de insumos como sementes, fertilizantes, agroquímicos, tratores e implementos para a produção, e até as partes envolvidas no pós-colheita que consiste no beneficiamento, transporte, comercialização e industrialização (PINAZZA, 2007).

A soja tornou-se muito importante principalmente pelas suas principais características: grande produção de óleo e proteína por unidade de área, e longa capacidade de armazenamento. As sementes de soja contêm em torno de 40 % de proteína, 20 % de óleo, elevado conteúdo de aminoácidos essenciais e nutrientes, e alto valor calórico (NAKAMURA, 1980).

As áreas de cultivo e a produtividade da soja têm crescido anualmente e os desafios para sustentar este crescimento são tão grandes quanto a importância e a força da cultura para a balança comercial. Entre os desafios estão os fatores incontroláveis como clima e oscilações da economia mundial, assim como fatores controláveis, que vão desde as políticas de incentivo e infraestrutura de âmbito macro político, passando pelas questões de tecnologia e manejo que são fatores cruciais para incrementar a produtividade (PINAZZA, 2007).

### **3.2. Impacto de plantas daninhas na cultura da soja**

A presença de plantas daninhas em lavouras de soja pode afetar o desenvolvimento da cultura, competindo por água, luz e nutrientes, causando assim a redução na produtividade de grãos, devido aos efeitos da interferência sobre as variáveis que definem a produtividade da cultura (OLIVEIRA JR et al., 2011). Os efeitos negativos da comunidade infestante em culturas decorrem tanto do aumento na densidade de plantas daninhas quanto da duração do período de interferência (GHERSA; HOLT, 1995). O controle das plantas infestantes geralmente está relacionado à elevação no custo de produção. No cultivo da soja, cerca de 30 % do seu custo total de produção está relacionado ao controle de plantas daninhas (SILVA et al., 2000).

Os fatores que determinam a maior competitividade das plantas daninhas sobre as culturas são a maior velocidade de germinação e estabelecimento da plântula, a maior velocidade de crescimento e a maior extensão do sistema radicular, sua arquitetura e seu porte, a menor suscetibilidade das espécies daninhas a pragas e doenças, aos intempéries climáticos, como veranico e geadas e a maior capacidade de produção e liberação de substâncias químicas com propriedades alelopáticas (SILVA et al., 2000).

As plantas daninhas podem causar perdas na produtividade, variando de 10 a mais de 80 % em função da espécie competidora, do grau de infestação, do período de convivência, bem como do estágio de desenvolvimento da cultura e das condições climáticas durante a convivência (SILVA, 2002).

Os efeitos da interferência são irreversíveis, não havendo recuperação do desenvolvimento ou da produtividade após retirada do estresse causado pela presença das plantas daninhas (KOSLOWSKI et al., 2002). Os efeitos decorrentes da

interferência de plantas daninhas sobre características de plantas cultivadas podem comprometer o desenvolvimento de estruturas reprodutivas e afetar os componentes da produtividade de grãos (LAMEGO et al., 2004). Segundo BOARD et al. (1995), em soja, o número de vagens é a característica mais responsiva às alterações causadas pelo estresse da competição de espécies concorrentes. Enquanto o número de grãos por vagem e o peso médio de grãos possuem maior controle individual, mostrando pequena amplitude de variação devido ao ambiente. O efeito negativo da competição de plantas daninhas sobre os componentes de produção da soja tem sido amplamente relatado. Houve redução de 40 % no número de vagens por planta, de 6,5 % no número grãos por vagens e de 10 % no peso de mil grãos quando a cultura teve interferência de *Euphorbia dentata* na densidade de 55 plantas m<sup>-2</sup> (JUAN et al., 2003). Nos componentes de produtividade em três níveis de infestação de plantas daninhas foi verificado que o número de vagens por planta foi o mais afetado pela competição, com reduções de até 58 % na área de baixa infestação, 71 % na de média infestação e 78 % na de alta infestação. O número de sementes por vagem e peso de mil grãos se mostraram menos responsivos aos efeitos de competição; contudo, houve redução desses parâmetros, indicando relação entre o período de convivência e nível de infestação e os componentes de produção da soja (SILVA et al., 2008). A matéria seca da comunidade infestante mostrou correlação significativa e inversamente proporcional à altura, número de hastes por planta, estande final e produtividade. Quando a infestação se estendeu por longos períodos, a produtividade de soja diminuiu 38 % (MESCHÉDE et al., 2004).

### 3.3. Mecanismos de ação de herbicidas

A funcionalidade de um herbicida na planta ocorre de acordo com a absorção, a translocação, o metabolismo e a sensibilidade da planta a este herbicida ou a seus metabólitos. Por isso, o simples fato de um herbicida atingir as folhas ou ser aplicado no solo não é suficiente para que ele exerça a sua ação. Há necessidade de que ele seja absorvido pela planta, transloque e atinja a organela onde irá atuar. Um mesmo herbicida pode influenciar vários processos metabólicos na planta, entretanto a primeira lesão biofísica ou bioquímica que ele causa na planta é caracterizada como o seu mecanismo de ação (SILVA et al., 2007). Atualmente, o mecanismo de ação é o modelo mais utilizado para realizar a classificação dos herbicidas, A classificação internacionalmente aceita é a proposta por *Herbicide Resistance Action Committee* (HRAC) (Tabela 1).

O conhecimento do mecanismo de ação do herbicida permite definir e utilizar grupos químicos de diferentes sítios de atuação e com isso prevenir contra o aparecimento de plantas daninhas resistentes (OLIVEIRA JR et al., 2011).

Tabela 1. Classificação de herbicidas com base no seu mecanismo de ação segundo Herbicide Resistance Action Committee (HRAC)

HRAC	Sítio de atuação	Grupo químico
A	Inibição da acetil CoA carboxilase (ACCase)	Ariloxifenoxipropionatos (FOPs) Ciclohexadionas (DIMs) Fenilpirazolininas (DENS)
B	Inibição da acetolactato sintase (ALS) ou (acetohidróxidoácido sintase AHAS)	Sulfoniluréias Imidazolinonas Triazolopirimidinas Pirimidinil(tio)benzoatos Sulfonilaminocarbonil-triazolinonas
C1	Inibição da fotossíntese no fotossistema II	Triazinas Triazinonas Triazolinonas Uracilas Piridazinonas Fenil-carbamatos
C2	Inibição da fotossíntese no fotossistema II	Uréias Amidas
C3	Inibição da fotossíntese no fotossistema II	Nitrilas Benzotiadiazinonas Fenil-piridazinas

Tabela 1. (Continuação)

HRAC	Sítio de atuação	Grupo químico
D	Inibição da fotossíntese no fotossistema I	Bipiridíliuns
E	Inibição da protoporfirinogênio oxidase (PPO)	Difeniléteres Fenilpirazoles N-fenilftalimidas Tiadiazoles Oxadiazoles Triazolinonas Oxazolidinedionas Pirimidindionas Outros
F1	Inibição da biossíntese de carotenóides na fitoeno desaturase (PDS)	Piridazinonas Piridinecarboxamidas Outros
F2	Inibição da biossíntese de carotenóides na 4-hidroxifenil-piruvato-dioxigenase (4HPPD)	Tricetonas Isoxazoles Pirazoles Outros
F3	Inibição da biossíntese de carotenóides (alvo desconhecido)	Triazoles Isoxazolidinonas Difeniléteres
G	Inibição da EPSP sintase	Glicinas
H	Inibição da glutamina sintase	Ácido fosfínico
I	Inibição da DHP (dihidropteroato sintase)	Carbamatos
K1	Inibição da formação de microtúbulos	Dinitroanilinas Fosforoamidatos Piridinas Benzamidas Ácido benzóico
K2	Inibição da mitose	Carbamatos
K3	Inibição da divisão celular ou (Inibição da VLCFA)	Cloroacetamidas Acetamidas Oxiacetamidas Tetrazolinonas Outros
L	Inibição da síntese de (celulose) parede celular	Nitrilas Benzamidas Triazolocarboxamidas Ácido quinolinocarboxílico
M	Desacopladores (Disruptores de membrana)	Dinitrofenóis
N	Inibição da síntese de lipídeos - diferentes de inibidores da ACCase	Tiocarbamatos Fosforoditioatos Benzofuranas Ácido clorocarbônico
O	Mimetizadores de auxina	Ácido fenóxicarboxílico Ácido benzóico Ácido piridinecarboxílico Ácido quinolinocarboxílico Outros
P	Inibidores do transporte de auxinas	Ftalamatos Semicarbazonas
Z	Desconhecidos	Ácido arilaminopropiônico Pirazóliuns Organoarsenicais Outros

### **3.4. Controle químico de plantas daninhas na cultura da soja**

O controle de plantas daninhas é uma necessidade de ordem econômica em que, o método químico vem sendo o mais viável em grandes áreas. O controle químico é uma ferramenta de alta importância no manejo de plantas daninhas e tem se destacado pela eficiência, rapidez e baixo custo. Entretanto, a eficácia dos herbicidas é variável entre si e dependente das condições ambientais, da época de aplicação e da espécie daninha a ser controlada (MEROTTO JR et al., 1997). Os herbicidas podem ou não serem seletivos à cultura, aplicados no manejo antes do plantio e incorporados ou não ao solo, em pré-emergência da cultura e/ou plantas daninhas e pós-emergência da cultura e/ou plantas daninhas (CONSTANTIN, 2011).

OLIVEIRA et al. (2006) avaliaram diferentes sistemas de manejo e controle de plantas daninhas em pós-emergência na cultura da soja. Embora todas as dessecações em pré-plantio foram eficientes, a antecipação da dessecação 24 dias antes do plantio, seguida de uma segunda aplicação no dia do plantio favoreceu a emergência e o desenvolvimento inicial da soja, proporcionando maiores ganhos de produtividade. Por outro lado, PROCÓPIO et al. (2006a) utilizando glifosato e a mistura paraquat+diuron concluíram que o melhor desenvolvimento da cultura da soja aconteceu com aplicação de glifosato cinco dias antes da semeadura da soja ou quando foi realizada aplicação seqüencial de glifosato dias antes da semeadura e paraquat+diuron no dia da semeadura.

PROCÓPIO et al. (2006b) avaliaram a eficácia e a seletividade da associação dos herbicidas clorimuron etílico do grupo das sulfoniluréias e imazetapir do grupo das imidazolinonas ao glifosato e observaram que a adição desses componentes ocasionou intoxicação às plantas de soja resistentes ao glifosato, porém em níveis aceitáveis por não ter diminuído significativamente a produtividade da soja. Os

sintomas de intoxicação provocados pela ação do imazetapir foram mais intensos em comparação aos do clorimuron.

Atualmente o herbicida mais utilizado na cultura da soja é o glifosato. Isso se deve ao fato que 96 % da área cultivada com a cultura contém soja transgênica resistente a esse herbicida (CÉLERES, 2017). Entretanto, existe um grande número de grupos químicos registrados para a soja. Entre eles têm-se: acetamida, difeniléteres, amida, tiadiazina, ciclohexanodiona, isoxazolidinona, sulfoanilida, triazinas, ariloxifenoxipropionato, ftalimidas, imidazolinona, triazinas, dinitroanilinas, ariltriazolinona, dinitroanilinas, glicina e sulfoniluréia (VARGAS; ROMAN, 2006).

Apesar do grande número de herbicidas registrados com diferentes grupos químicos, a alta porcentagem de áreas com cultivares resistentes ao glifosato e conseqüentemente o uso excessivo desse herbicida ocasionou o surgimento de plantas daninhas resistentes a esse princípio ativo. A seleção de espécies resistentes está associada a mudanças genéticas na população sob pressão de seleção por esses produtos. Portanto, torna-se de fundamental importância a rotação dos mecanismos de ação dos herbicidas utilizados nas áreas de produção (POWLES, 2008).

A soja contendo os alelos *A1s1* e/ou *A1s2* foi desenvolvida como uma ferramenta alternativa para o controle de plantas daninhas que apresentaram resistência a outros herbicidas principalmente ao glifosato. A ideia é utilizar herbicidas do grupo das sulfoniluréias para auxiliar no controle de plantas daninhas dicotiledôneas, como por exemplo, a *Conyza* spp., que apresenta resistência ao glifosato. Foi relatado na literatura (VARGAS et al., 2007; MOREIRA et al., 2007; LAMEGO; VIDAL, 2008) resistência de *C. bonariensis* e *C. canadensis* ao glifosato. Por outro lado, SANTOS

et al. (2012) relatou caso de resistência de *C. sumatrensis* ao glifosato e também ao clorimuron etílico do grupo das sulfoniluréias.

### **3.5. Melhoramento de soja para tolerância a herbicidas**

Tolerância de plantas daninhas a herbicidas é definido como a habilidade de uma planta sobreviver e reproduzir, após exposição a uma dose de herbicida normalmente letal para o biótipo silvestre da planta. A característica de tolerância a herbicidas pode ser de ocorrência natural, selecionada em populações de espécies daninhas no campo, ou induzida por técnicas como engenharia genética ou seleção de variantes produzidas por culturas de tecidos ou mutagêneses. Através dessas técnicas, a tolerância a herbicidas pode ser incorporada em um programa de melhoramento de plantas (VIDAL, 1997; MATIELLO et al., 1999).

O processo de melhoramento de plantas demanda tempo e exige alto investimento financeiro devido ao grande número de pessoas envolvidas, a necessidade de equipamentos, máquinas agrícolas e instalações. Um programa de melhoramento de soja busca em geral obter cultivares com maior rendimento e maior resistência a pragas e doenças e pode apresentar alguns objetivos específicos como tolerância à acidez do solo, ao estresse hídrico, a herbicidas entre outros. Geralmente as formas de melhoramento para tolerância a herbicidas é através de técnicas de transgênia ou mutação com expressão no fenótipo, obtenção de populações e seleção para o desenvolvimento de cultivares superiores com a presença do gene que confere resistência a determinado grupo químico (RAMALHO et al., 1993; ALBRECHT; MISSIO, 2013).

O intuito da transgênia ou mutação é adicionar ou criar no germoplasma de soja genes que conferem tolerância a um determinado herbicida de um grupo químico

ainda não presente no DNA da soja. Após a incorporação desse novo gene, é necessário técnicas de melhoramento clássico como cruzamento entre genótipos de soja, condução de populações e seleção de progênies superiores com a presença do gene de tolerância para o desenvolvimento de novos cultivares tolerantes ao herbicida desejado (ALBRECHT; MISSIO, 2013).

### 3.6. Cultivares de soja contendo os alelos *A1s1* e *A1s2*

No mercado brasileiro de variedades de soja existe um número reduzido de cultivares comerciais que foram registrados como resistentes aos herbicidas do grupo das sulfoniluréias. Esses cultivares estão na Tabela 2.

Tabela 2. Cultivares comerciais registrados como resistentes aos herbicidas do grupo das sulfoniluréias e empresas detentoras

Cultivar	Empresa
BMX Turbo RR	Brasmax
Garra IPRO	Brasmax
DM61i59 RSF IPRO	Don Mario
CD 201	Coodetec
CD 235 RR STS	Coodetec
CD 250 RR STS	Coodetec
CD 2630 RR STS	Coodetec
CD 216 STS	Coodetec
CD 224 STS	Coodetec
CD 252 STS	Coodetec
CD 236 RR STS	Coodetec
CD 249 RR STS	Coodetec

#### 4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBRECHT, L.P.; MISSIO, R.F. **Manejo de cultivos transgênicos**. Palotina, PR: UFPR, 2013, 139 p.

BOARD, J.E.; WIER, A.T.; BOETHEL, D.J. Source strength influence on soybean formation during early and late reproductive development. **Crop. Science**, v. 35, p. 1104-1110, 1995.

CÉLERES. **Informativo Céleres** - segundo levantamento de adoção da biotecnologia agrícola no Brasil, safra 2016/2017, março de 2017, 2017. Disponível em: <http://www.celeres.com.br/2o-levantamento-de-adocao-da-biotecnologia-agricola-no-brasil-safra-201617/>. Acesso em 19 mar 2017.

CONSTANTIN, J. Métodos de manejo. In: OLIVEIRA JR, R.S., CONSTANTIN, J., INOUE, M.H. (Ed). **Biologia e manejo de plantas daninhas**. Curitiba: Ominipax, 2011. P. 67-78.

GASQUES, J.G.; VIEIRA FILHO, J.E.R.; NAVARRO, Z.S. **A Agricultura Brasileira: desempenho, desafios e perspectivas**. Brasília: Ipea, 2010. 298 p.

GHERSA, C.M.; HOLT, J.S. Using phenology prediction in weed management: a review. **Weed Research**, v. 35, p. 461-470, 1995.

GRAZIANO DA SILVA, J. **A nova dinâmica da agricultura brasileira**. Campinas, SP: UNICAMP, Instituto de Economia, 1996.

ITO, M.F.; TANAKA, M.A.F. **Soja: principais doenças causadas por fungos, bactérias e nematoides**. Campinas: Fundação Cargill, 1993. 234p.

JUAN, V.F.; SAINT-ANDRE, H.; FERNANDEZ, R.R. Competencia de lecheron (*euphorbia dentata*) en soja. **Planta Daninha**, v. 21, p. 175-180, 2003.

KOSLOWSKI, L.A.; RONZELLI JÚNIOR, P.; PURÍSSIMO, C.; DAROS, E.; KOEHLER, H.S. Interferência das plantas daninhas na cultura do feijoeiro comum em sistema de semeadura Direta. **Planta Daninha**, v. 20, p. 213-220, 2002.

LAMEGO, F.P.; FLECK, N.G.; BIANCHI, M.A.; SCHAEGLER, C.E. Tolerância a interferência de plantas competidoras e habilidade de supressão por genótipos de soja – II. Resposta de variáveis de produtividade. **Planta Daninha**, v. 22, p. 491-498, 2004.

LAMEGO, F.P.; VIDAL, R.A. Resistance to glyphosate in *Conyza bonariensis* and *Conyza canadensis* biotypes in Rio Grande do Sul, Brazil. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 26, p. 467-471, 2008.

MATIELLO, R.R.; RONZELLI JÚNIOR, P.; PURÍSSIMO, C. Mecanismos de resistência: fatores biológicos, agrônômicos e genéticos. In: Curso de manejo da resistência de plantas daninhas aos herbicidas, 2., 1999, Ponta Grossa. **Anais...** Ponta Grossa: AECG, 1999. p. 27-40.

MEROTTO JR, A.; ALMEIDA, M.L. DE; FUCHS, O. Aumento no rendimento de grãos de milho através do aumento da população de plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 27, p. 549-554, 1997.

MESCHEDE, D.K.; OLIVEIRA JR, R.S.; CONSTANTIN, J.; SCAPIM, C.A. Período anterior a interferência de plantas em soja: estudo de caso com baixo estande e testemunhas duplas. **Planta Daninha**, v. 22, p. 239-246, 2004.

MOREIRA, M.; NICOLAI, M.; CARVALHO, S.J.P.; CHRISTOFFOLETI, P.J. Resistência de *Conyza canadensis* e *C. bonariensis* ao herbicida glyphosate. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 25, p. 323-326, 2007.

NAKAMURA, H. 1980. Desirable qualities of soybeans: Japanese view point. In: **World Soybean Research Conference 11**. Frederick, T.C. (Ed.), pp.1-7. March 26-27, 1979, Granada, Spain.

OLIVEIRA JR, R.S.; CONSTANTIN, J.; COSTA, J.M.; CAVALIERI, S.D.; ARANTES, J.G.Z.; ALONSO, D.G.; ROSO, A.C.; BIFFE, D.F. Interação entre sistemas de manejo e de controle de plantas daninhas em pós-emergência afetando o desenvolvimento e a produtividade da soja. **Planta Daninha**, v. 24, p. 721-732, 2006.

OLIVEIRA JR, R.S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M.H. **Biologia e manejo de plantas daninhas**. Curitiba: Omnipax, 2011. 248 p.

PINAZZA, L.A. **Cadeia produtiva da soja**. Brasília: IICA MAPA/SPA, 2007, 116 p. Acesso em 23 jan 2017.

POWLES, S.B. Evolution in action: glyphosate-resistant weeds threaten world crops. **Outlooks on Pest Management** 19(6): 256-259, 2008.

PROCÓPIO, S.O.; MENEZES, C.C.E.; BETTA, L.; BETTA, M. Utilização de chlorimuron-ethyl e imazethapyr na cultura da soja Round Ready. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 25, n.2, p. 365-373, 2006b.

PROCÓPIO, S.O.; PIRES, F.R.; MENEZES, C.C.E.; BARROSO, A.L.L.; MORAES, R.V.; SILVA, M.V.V.; QUEIROZ, R.G.; CARMO, M.L. Efeitos de dessecantes no controle de plantas daninhas na cultura da soja. **Planta Daninha**, v. 24, p. 193-197, 2006a.

RAMALHO, M.A.P.; SANTOS, J.B.; ZIMMERMANN, M.J.O. **Genética quantitativa em plantas autógamas**: aplicações ao melhoramento do feijoeiro. Goiânia: UFG, 1993. 271p.

SANTOS, G.; OLIVEIRA JR, R.S.; CONSTANTIN, J.; MACHADO, M.F.P. Buva com resistência múltipla a herbicidas é identificada como *Conyza sumatrensis* no Paraná. **Informe Técnico PGA – UEM**, Maringá, v. 1, p. 1-4, 2012.

SILVA, A.A. **Biologia e controle de plantas daninhas**. Viçosa: DFT, UFV, 2002. CDROM.

SILVA, A.A.; SILVA, J.F.; FERREIRA, F.A.; FERREIRA, L.R. **Controle de plantas daninhas**. Brasília, DF: ABEAS, módulo 3, 2000. 260p.

SILVA, A.A.; VARGAS, L.; FERREIRA, E.A. Herbicidas: Resistência de plantas. In: SILVA, A.A.; SILVA, J.F. **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2007. Capítulo 7, p. 240-281.

SILVA, A.F.; FERREIRA, E.A.; CONCENÇO, G.; FERREIRA, F.A.; ASPIAZU, I.; GALON, L.; SEDIYAMA, T.; SILVA, A.A. Densidades de plantas daninhas e épocas de controle sobre os componentes de produção da soja. **Planta Daninha**, v. 26, p. 65-71, 2008.

USDA. **United States Department of Agriculture** – Foreign Agricultural Service. Disponível em: <https://www.fas.usda.gov/data/world-agricultural-production>. Acesso em 5 jun 2017.

VARGAS, L.; BIANCHI, M.A.; RIZZARDI, M.A.; AGOSTINETTO, D.; DAL MAGRO, T. Buva (*Conyza bonariensis*) resistente ao glyphosate na região sul do Brasil. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 25, p. 573-578, 2007.

VARGAS, L.; ROMAN, E.S. Manejo e controle de plantas daninhas na cultura da soja.

**EMBRAPA - Documentos Online**. v. 62, 2006. 66 p.

VIDAL, R.A. **Herbicidas**: Mecanismo de ação e resistência de plantas. Porto Alegre:

Ribas Vidal, 1997. 165p.

**CAPÍTULO 1 - CARACTERIZAÇÃO DE PROGÊNIES DE SOJA CONTENDO OS  
ALELOS *A/s1* E *A/s2* PARA TOLERÂNCIA A HERBICIDAS DAS  
SULFONILURÉIAS**

Parte do capítulo publicado em:

MANTOVANI, E.E., SOUZA, N.O.S., SILVA, L.A.S., SANTOS, M.A. Characterization of soybean population with sulfonylurea herbicides tolerant alleles, **African Journal of Agricultural Research**, v. 12, n.19, p. 1661-1668, 11 May, 2017.

## RESUMO

As sulfoniluréias são herbicidas que atuam bloqueando a síntese de aminoácidos essenciais através da inibição da enzima acetolactato sintase (ALS). Com a introdução de cultivares de soja comerciais contendo os alelos *Als1* e *Als2* que conferem tolerância a diferentes princípios ativos do grupo das sulfoniluréias, esse trabalho teve como objetivo testar progênies de soja quanto à presença/ausência dos alelos *Als1* e *Als2* e avaliar o impacto agrônomico da adição desses alelos. Esses experimentos foram conduzidos nas estações experimentais da DuPont Pioneer de Planaltina, DF, nas safras 2014/2015 e 2015/2016, e de Sorriso, MT, na safra 2014/2015. Foram avaliadas quatro populações com 40 progênies cada, sendo 10 progênies sem *Als1* e *Als2* (nulas), 10 progênies contendo *Als1*, 10 contendo *Als2* e 10 progênies contendo ambos os alelos. Os experimentos foram conduzidos em blocos casualizados com três repetições. As características avaliadas foram emergência de plântulas, altura de planta, maturação, avaliação da parcela, avaliação visual do tratamento, acamamento e produtividade de grãos. As médias de produtividade em Planaltina e Sorriso na safra 2014/2015 e em Planaltina 2015/2016 foram 2896, 2537 e 3264 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. A produtividade de grãos para as classes genotípicas nula, *Als1*, *Als2* e *Als1+Als2* foram 2826, 2837, 2685 e 2835 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente e não diferiram estatisticamente entre si. As demais características também apresentaram comportamento semelhante entre as classes. Como as progênies testadas foram desenvolvidas para esse estudo, elas foram inferiores as testemunhas. Esse estudo demonstrou que nas quatro populações avaliadas, a adição dos alelos *Als1* e/ou *Als2* não ocasionou alterações significativas nas características agrônomicas avaliadas.

**Palavras-chave:** *Glycine max* L., *Als1*, *Als2*, produtividade de grãos.

## ABSTRACT

Sulfonylureas are herbicides that acts by blocking the synthesis of essential amino acids by inhibiting acetolactate synthase enzyme (ALS). With the introduction of commercial soybean cultivars with *Als1* and *Als2* alleles that confer tolerance to different active ingredients of sulfonylureas group, this work aimed to test soybean progenies for the presence/absence of *Als1* and *Als2* alleles and evaluate the agronomic impact of these alleles addition. These experiments were conducted in experimental stations of DuPont Pioneer at Planaltina, DF, during 2014/2015 and 2015/2016 seasons and at Sorriso, MT, during 2014/2015 season. Four populations were evaluated with 40 progenies each, 10 progenies without *Als1* and *Als2* (null), 10 progenies containing *Als1*, 10 containing *Als2* and 10 progenies containing both alleles. The experiments were conducted in a randomized block with three replicates. The evaluated traits were seedling emergence, plant height, maturity, plot evaluation, visual treatment evaluation, lodging and grain yield. The grain yield averages at Planaltina and Sorriso in 2014/2015 and at Planaltina in 2015/2016 were 2896, 2537 and 3264 kg ha<sup>-1</sup>, respectively. Yield for the genotypic classes null, *Als1*, *Als2* and *Als1+Als2* were 2826, 2837, 2685 and 2835 kg ha<sup>-1</sup>, respectively, and they were not statistically different from each other. As the studied progenies were developed for this study, they were inferior than the checks. This study demonstrated that in the four studied populations, the addition of *Als1* and/or *Als2* alleles did not cause significant differences in the evaluated agronomic traits.

**Key words:** *Glycine max* L., *Als1*, *Als2*, grain yield.

## 1. INTRODUÇÃO

Durante o desenvolvimento da agricultura no Brasil, várias espécies de plantas daninhas foram selecionadas devido à exposição contínua a herbicidas com semelhante modo de ação. A seleção de espécies tolerantes foi o primeiro processo constatado, e mais tarde a seleção de biótipos resistentes aos herbicidas (PONCHIO, 1997; MATIELLO et al., 1999). Primeiro os eventos ocorreram em soja e milho convencionais, e mais tarde através do glifosato na soja geneticamente modificada. A seleção de espécies resistentes está associada a mudanças genéticas na população sob pressão de seleção por esses produtos. Portanto, torna-se de fundamental importância a rotação dos mecanismos de ação dos herbicidas utilizados nas áreas de produção (VIDAL, 1997; CHRISTOFFOLETI; LÓPEZ-OVEJERO, 2003; POWLES, 2008).

As sulfoniluréias são herbicidas que atuam bloqueando a síntese de aminoácidos essenciais através da inibição da enzima acetolactato sintase (ALS). ALS é a primeira enzima na biossíntese dos aminoácidos valina, leucina e isoleucina, catalisando duas reações paralelas: condensação de 2 moles de piruvato, para formar acetolactato; e condensação de 1 mol de piruvato com 1 mol de 2-oxibutirato, para formar aceto-hidroxi-butirato (EBERLEIN et al., 1997). A inibição dessa enzima interrompe a produção de proteínas, interferindo no crescimento celular e, conseqüentemente, ocasionando a morte da planta. Sulfoniluréias tem sido amplamente utilizada em mais de 80 países e em cerca de 25 culturas. Existe uma grande variedade de sulfoniluréias. Algumas são não seletivas, ou efetivas no controle de todas as plantas, podendo ser utilizadas pelo setor industrial para controle completo da vegetação. Enquanto que outros produtos são seletivos, agindo em algumas espécies e sendo

tolerada por outras cujas plantas metabolizam o produto e se desintoxicam antes de sofrer danos significativos por inibição da atividade da ALS (SHERMAN et al., 1996; GREEN, 2007).

Com a comprovação da capacidade da soja em tolerar alguns princípios ativos do grupo das sulfoniluréias como clorimuron etílico, através de sua rápida inativação metabólica, esse princípio ativo tornou-se amplamente aplicado em culturas de soja (ZAWOZNIK; TOMARO, 2005). Atualmente, no Brasil, clorimuron etílico é utilizado em pré e pós-emergência para o controle principalmente de ervas daninhas resistentes ao glifosato. Entretanto, maior resistência a esse componente e outras sulfoniluréias foi conferido à soja por mutações específicas dentro dos genes ALS fazendo com que essa enzima seja menos susceptível para a inibição das sulfoniluréias, mantendo sua capacidade vital ativa (DUGGLEBY et al., 2008; YU et al., 2010; WALTER et al., 2014).

Através do uso de técnicas mutagênicas e melhoramento convencional, na década de 1980, desenvolveu-se a cultivar W20, derivada de Williams, com resistência aos herbicidas do grupo das sulfoniluréias (SEBASTIAN et al., 1989; SEBASTIAN, 1992), sendo essa a primeira cultivar do grupo comercialmente conhecido como STS® (sulfonyleurea tolerant soybean). Essa tecnologia proporcionou maior flexibilidade para o uso de diferentes sulfoniluréias com maior espectro de ação no controle de plantas daninhas, sendo amplamente utilizada por diferentes empresas nas Américas do Norte e do Sul. Após um período em desuso devido à introdução de cultivares geneticamente modificados com resistência ao glifosato, o surgimento de plantas daninhas resistentes a esse princípio ativo, reativou o uso da tecnologia STS voltando ao mercado associada com o gene de resistência ao glifosato (GREEN; OWEN, 2010). Posteriormente o alelo mutante utilizado na tecnologia STS® ficou conhecido como *Als1* sendo que sua versão selvagem é o *als1* (WALTER et al., 2014).

Depois da incorporação do alelo *A/s1* em cultivares modernos, iniciou-se um novo ciclo de mutações com o intuito de desenvolver mutantes ainda mais tolerantes às sulfoniluréias. Assim originou-se a linhagem W4-4. Estudos comprovaram sua maior tolerância as sulfoniluréias e também que essa linhagem tinha passado por um segundo evento mutagênico originando um segundo alelo independente e em outro cromossomo chamado de *A/s2* (WALTER et al., 2014).

A mutação gênica que ocorreu com os alelos *A/s1* e *A/s2* foi do tipo substituição. Para o alelo *A/s1*, situado no cromossomo 4, houve uma substituição da prolina por serina na posição 178 da proteína da soja. Enquanto que para o alelo *A/s2* localizado no cromossomo 6, o aminoácido triptofano foi substituído pela leucina na posição 560 da proteína da soja (WALTER et al., 2014).

Frente à possibilidade de utilizar linhagens de soja contendo os alelos *A/s1* e *A/s2* em homozigose, tolerantes a diferentes princípios ativos das sulfoniluréias e apresentando maior resistência aos utilizados, torna-se necessário a realização de testes para comprovar que a adição desses alelos mutantes em novos genótipos de soja não ocasionará prejuízo agrônômico a cultura. Portanto esse trabalho teve por objetivo testar diferentes progênies de soja quanto à presença/ausência dos alelos *A/s1* e *A/s2* e avaliar o impacto agrônômico da adição desses alelos.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Obtenção de famílias

Esse estudo foi conduzido utilizando linhagens endogâmicas recombinantes de quatro diferentes populações. O desenvolvimento dessas progênies, através do método bulk modificado, iniciou-se na safra 2011/2012 quando foram feitos os cruzamentos envolvendo o doador dos alelos *Als1* e *Als2* (CD250RRSTS) com genótipos adaptados à região central do Brasil (BG4277, 98Y30, YB84C12 e XB85C12). No inverno de 2012, as sementes F<sub>1</sub>'s foram semeadas e a confirmação do cruzamento foi feita através de análise molecular utilizando marcadores de acordo com WALTER et al. (2014). Na safra seguinte, 2012/2013, foram semeadas como F<sub>2</sub>, e no inverno de 2013 como F<sub>3</sub>. Quando avançadas para F<sub>4</sub>, na safra 2013/2014, foi feita outra análise molecular (WALTER et al., 2014) para a classificação e seleção de plantas homozigotas quanto à presença/ausência dos alelos *Als1* e *Als2*. No inverno de 2014, foram semeadas as linhagens recombinantes F<sub>4:5</sub> oriundas das quatro populações (Tabela 1). O desenvolvimento das progênies foi feito no centro de pesquisa da DuPont Pioneer de Planaltina, DF exceto as gerações F<sub>3</sub> e F<sub>4:5</sub> que foram conduzidas no centro de pesquisa da DuPont Pioneer de Palmas, TO (Tabela 2).

Tabela 1. Número de progênies de cada classe genotípica e de cada população avaliadas em Palmas, TO no inverno de 2014 durante a geração F<sub>4</sub>

População		Número de progênies				
Parentais	Codificação	Nulas	Als1	Als2	Als1+Als2	TOTAL
BG4277/CD250RRSTS	Pop001	69	73	162	183	487
98Y30/CD250RRSTS	Pop002	14	19	20	31	84
YB84C12/CD250RRSTS	Pop003	78	164	32	129	403
XB85C12/CD250RRSTS	Pop004	164	131	142	123	560
TOTAL		325	387	356	466	1534

De cada uma das quatro populações, foram obtidas quatro classes de progênies (classes genóticas): progênies nulas (sem os alelos *A/s1* e *A/s2*), progênies com alelos *A/s1*, progênies com alelos *A/s2* e progênies com ambos os alelos (Tabela 1). Todos os alelos avaliados estavam em homozigose. Selecionou-se 10 progênies recombinantes  $F_{4:6}$  de cada classe das quatro populações baseado em características agronômicas, uniformidade, maturação e germinação para serem testadas na safra 2014/2015, em que se incluiu quatro variedades testemunhas sem os alelos *A/s1* e *A/s2*, sendo essas incluídas nas análises estatísticas como a quinta classe genótica. As quatro testemunhas foram 97R21, 97R73, 98Y12 e 98Y30. Outra avaliação foi realizada na safra 2015/2016, foram utilizadas sementes  $F_{4:7}$  apenas das populações superiores Pop001 (BG4277/CD250RRSTS) e Pop002 (98Y30/CD250RRSTS). Nessa segunda safra, a classe genótica contendo progênies com alelos *A/s2* não foi avaliada e as testemunhas (quinta classe genótica) utilizadas, sem os alelos *A/s1* e *A/s2*, foram os cultivares BG4277, 98Y11, 98Y12, 98Y30, 98Y52 e 98Y71.

Tabela 2. Fluxograma do desenvolvimento das populações/progênies contendo ano de execução, geração, ação executada e local

Ano	Geração	Ação	Local
2011/2012	Cult adaptada X Cult doadora	Cruzamento	Brasília
	↓		
2012	F <sub>1</sub>	Confirmação – Marcadores	Brasília
	↓		
2012/2013	F <sub>2</sub>	Avanço	Brasília
	↓		
2013	F <sub>3</sub>	Avanço	Palmas
	↓		
2013/2014	F <sub>4</sub>	Marcadores – Seleção	Brasília
	↓		
2014	F <sub>4:5</sub>	Multiplicação	Palmas
	↓		
2014/2015	F <sub>4:6</sub>	Teste de Desempenho	Brasília e Sorriso
	↓		
2015/2016	F <sub>4:7</sub>	Teste de Desempenho	Brasília

## 2.2. Avaliação de campo

Foram semeadas, na safra 2014/2015, 40 progênies de cada população, sendo 10 progênies de cada classe, mais as quatro variedades testemunhas. Os experimentos foram conduzidos em dois locais, nos centros de pesquisa da DuPont Pioneer de Sorriso, MT e Planaltina, DF. Para a safra seguinte, 2015/2016, foram feitas algumas alterações. As populações utilizadas foram apenas Pop001 e Pop002. A classe genotípica contendo progênies com alelos *Als2* não foi avaliada, algumas testemunhas foram alteradas e o experimento foi conduzido apenas no centro de pesquisa de Planaltina, DF (Tabela 3). Apesar de ambos locais terem solos classificados como latossolo, esses locais representam ambientes distintos. O centro de pesquisa de Sorriso está situado na parte Centro-Norte do estado de Mato Grosso em uma altitude de 398 m. Enquanto que o centro de pesquisa de Planaltina está situado na parte Nordeste do Distrito Federal a uma altitude de 1152 m.

Tabela 3. Número de progênies de cada classe genotípica e de cada população avaliadas nos experimentos de desempenho nos locais de Sorriso, MT e Planaltina, DF nas safras 2014/2015 e 2015/2016

Sorriso, MT e Planaltina, DF - 2014/2015					
População	Nulas	Als1	Als2	Als1+Als2	TOTAL
Pop001	10	10	10	10	40
Pop002	10	10	10	10	40
Pop003	10	10	10	10	40
Pop004	10	10	10	10	40
TOTAL	40	40	40	40	160 + 4 Testemunhas
Planaltina, DF - 2015/2016					
População	Nulas	Als1	Als2	Als1+Als2	TOTAL
Pop001	10	10	-	10	30
Pop002	10	10	-	10	30
Pop003	-	-	-	-	-
Pop004	-	-	-	-	-
TOTAL	20	20	-	20	60 + 6 Testemunhas

O delineamento experimental foi em blocos casualizados com três repetições, sendo que cada população foi plantada e casualizada separadamente. Cada parcela

foi constituída por quatro linhas de cinco metros de comprimento e espaçamento entre linhas de 0,50 m. A área útil colhida foram as duas linhas centrais. A densidade populacional em Planaltina foi de 12 plantas  $m^{-1}$  ou 240.000 plantas  $ha^{-1}$ , enquanto que em Sorriso foi de 14 plantas  $m^{-1}$  ou 280.000 plantas  $ha^{-1}$ . Os experimentos foram plantados em Sorriso no dia seis de novembro de 2014 e em Planaltina nos dias 21 de novembro de 2014 e 25 de novembro de 2015 (Figura 1). Os tratos culturais foram feitos conforme recomendação da EMBRAPA SOJA (2001). A colheita foi feita através de dessecação no estágio R7.3 com Gramoxone utilizando 2 L  $ha^{-1}$  do produto comercial, que contém 200 g  $L^{-1}$  do ingrediente ativo Paraquat. Posteriormente foi feito a colheita mecanizada de cada população de acordo com a maturação.



Figura 1. Imagens registradas durante o plantio dos experimentos. a=plantio na estação de Sorriso em seis de novembro de 2014 e b=plantio na estação de Planaltina em 25 de novembro de 2015.

Foram avaliadas as seguintes características agronômicas: emergência de plântulas (EP), que consiste na porcentagem visual de plântulas emergidas no estágio V2; altura de planta (AltPI), medida pela distância em cm da superfície do solo até o ápice de uma planta representativa e foi avaliada no estágio de maturação do tratamento em R8; maturação (Mat), é o número de dias do plantio até a data quando 95 % do tratamento atinge o estágio de maturação R8; avaliação da parcela (AvaPa), nota em porcentagem para a unidade experimental com o intuito de mensurar a qualidade da parcela baseado no número de plantas e sua distribuição no estágio de maturação em R8; avaliação visual do tratamento (AVT), avaliação visual em porcentagem do tratamento no estágio R8 quanto ao seu aspecto visual baseado em características agronômicas desejáveis; não-acamadas (NAca) que consiste na porcentagem de plantas que não inclinaram mais que 45° no estágio R8; e produtividade de grãos (PG) que é o peso de grãos de uma parcela convertido para kg ha<sup>-1</sup> e corrigido para 13 % de umidade. Os estádios da soja foram classificados segundo FEHR et al. (1971).

Os dados coletados foram analisados pelo programa estatístico R (R CORE TEAM, 2016). O modelo estatístico adotado foi misto tendo ambientes e blocos como aleatórios, e populações e classes genotípicas do gene como efeitos fixos. Foi realizada uma análise de variância para cada local, seguida pelo teste de homogeneidade de variâncias de Bartlett ao nível de 0,005 de probabilidade com o intuito de validar a análise de variância conjunta (Tabela 4) (RAMALHO et al., 2012). As médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade.

Tabela 4. Análise de variância conjunta para blocos casualizados indicando o correto denominador do teste F para cada fonte de variação, tendo blocos e ambientes (anos x locais) como efeitos aleatórios e populações e classes genotípicas como fixos

Fontes de Variação	Quadrado Médio		Teste F
	Observado	Esperado <sup>a</sup>	
Ambiente	M1		não é válido
Rep(Amb)	M2		não é válido
Classes genotípicas	M3	$\sigma^2 + r\rho\sigma_{ac}^2 + rap\sum\alpha_i^2/(c-1)$	M3 / M6
População	M4	$\sigma^2 + rc\sigma_{ap}^2 + rac\sum\beta_j^2/(p-1)$	M4 / M7
Classe x Pop	M5	$\sigma^2 + r\sigma_{acp}^2 + ra\sum(\alpha\beta)_{ij}^2/(c-1)(p-1)$	M5 / M8
Amb x Classe	M6	$\sigma^2 + r\rho\sigma_{ac}^2$	M6 / M9
Amb x Pop	M7	$\sigma^2 + rc\sigma_{ap}^2$	M7 / M9
Amb x Classe x Pop	M8	$\sigma^2 + r\sigma_{acp}^2$	M8 / M9
Erro	M9	$\sigma^2$	

<sup>a</sup> =as letras "r", "a", "c" e "p" referem-se ao número de repetições, ambientes, classes genotípicas e populações, respectivamente.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como os erros das variâncias foram homogêneos nos três ambientes para todas as características avaliadas nos experimentos (Tabela 5), uma análise de variância conjunta foi realizada (Tabela 6). As médias dos experimentos, das populações, das classes genotípicas dos genes, todas as interações e o teste Tukey feito para todas as características que apresentaram diferença significativa estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 5. Teste de homogeneidade de variâncias de Bartlett ao nível de 0,005 de probabilidade e média harmônica dos graus de liberdade do erro de 335 para os experimentos em Sorriso e Planaltina (2014) e Planaltina (2015)

Caract. <sup>a</sup>	Quadrado médio do erro			GL do erro			Bartlett Calc.	Bartlett Tabel.
	Sorr 2014	Plan 2014	Plan 2015	Sorr 2014	Plan 2014	Plan 2015		
PG	156454	71586	79161	496	503	202	64	405
EP	244	67	47	496	503	202	267	405
AltPI	111	102	94	496	503	202	2	405
AvaPa	77	41	19	496	503	202	159	405
NAca	222	163	531	496	503	202	131	405
AVT	91	110	115	496	503	202	5	405
Mat	21	12	8	496	503	202	76	405

<sup>a</sup> PG=produtividade de grãos, EP=emergência de plântulas, AltPI=altura de planta, AvaPa=avaliação de parcela, NAca=não-acamadas, AVT=avaliação visual do tratamento e Mat=maturação.

Durante o ciclo da cultura na safra 2014/2015, as condições climáticas de Planaltina foram favoráveis ao desenvolvimento da cultura (Figura 2.b), exceto durante a fase final do estágio vegetativo quando diminuíram os índices pluviométricos. Enquanto que na estação de Sorriso as condições climáticas foram inadequadas no início da fase vegetativa (Figura 2.a) devido à baixa precipitação pluviométrica dificultando o crescimento inicial da cultura, e comprometendo a produção final de grãos. Na safra seguinte, as condições climáticas em Planaltina foram favoráveis (Figura 2.c e 2.d) exceto na fase final de enchimento de grãos quando diminuíram os índices pluviométricos, mas essa redução não afetou a

produtividade e conseqüentemente, esse ambiente foi o mais produtivo. Com isso a média de produtividade dos experimentos, em 2014/2015, em Planaltina foi de 2896 kg ha<sup>-1</sup> e Sorriso 2537 kg ha<sup>-1</sup>, enquanto que em 2015/2016 no local de Planaltina a média foi de 3264 kg ha<sup>-1</sup>. A média dos três ambientes foi de 2826 kg ha<sup>-1</sup> (Tabela 7).

Essa diferença de produtividade entre os ambientes de Planaltina e de Sorriso pode ser explicada, em parte, pela redução na emergência de plântulas e a avaliação da parcela. As notas médias de emergência em Planaltina 2014/2015 e 2015/2016 foram de 91 e 94 %, respectivamente, enquanto que em Sorriso foi de 76 % (Tabela 7). Para a característica avaliação da parcela, as médias em Planaltina 2014/2015 e 2015/2016 foram de 96 e 91 %, respectivamente, já em Sorriso foi de 61 % (Tabela 7). A superioridade média de produtividade da segunda safra em Planaltina em comparação com a primeira se deve principalmente pelo uso apenas das duas populações superiores Pop001 e Pop002.

De acordo com os dados de produtividade de grãos, as fontes de variação que apresentaram diferença significativa foram população, ambiente\*população, ambiente\*classe e ambiente\*população\*classe (Tabela 6). As populações Pop001 e Pop002 foram significativamente superiores às populações Pop003 e Pop004 (Tabela 7). As demais fontes de variação da característica produtividade de grãos que apresentaram diferença significativa estavam altamente ligadas ao ambiente. O ambiente Sorriso proporcionou a menor produtividade, seguido por Planaltina primeira safra e posteriormente segunda safra, demonstrando assim que essas diferenças estão associadas a magnitude da diferença da produtividade entre os ambientes e não a verdadeiras diferenças e alterações em ranqueamentos. Portanto a adição dos alelos *Als1* e/ou *Als2* não alterou a característica mais importante na cultura da soja. A média das classes genótípicas; Nulo, *Als1*, *Als2* e *Als1+Als2*, foram todas muito

próximas umas das outras, exceto Als2 (Tabela 7). Isso se deve ao fato dessa classe genotípica não ter sido plantada em Planaltina na safra 2015/2016, que foi o ambiente mais produtivo e elevou a média das demais classes. De qualquer forma, a média das classes genotípicas, apesar de estatisticamente iguais, foram inferiores à média das testemunhas, que foram analisadas como a quinta classe genotípica. As testemunhas passaram por todo o processo de desenvolvimento e seleção de um programa de melhoramento demonstrando assim sua maior capacidade de desenvolvimento em condições adversas e maior estabilidade diferentemente das progênes que foram desenvolvidas para esse tipo de estudo.

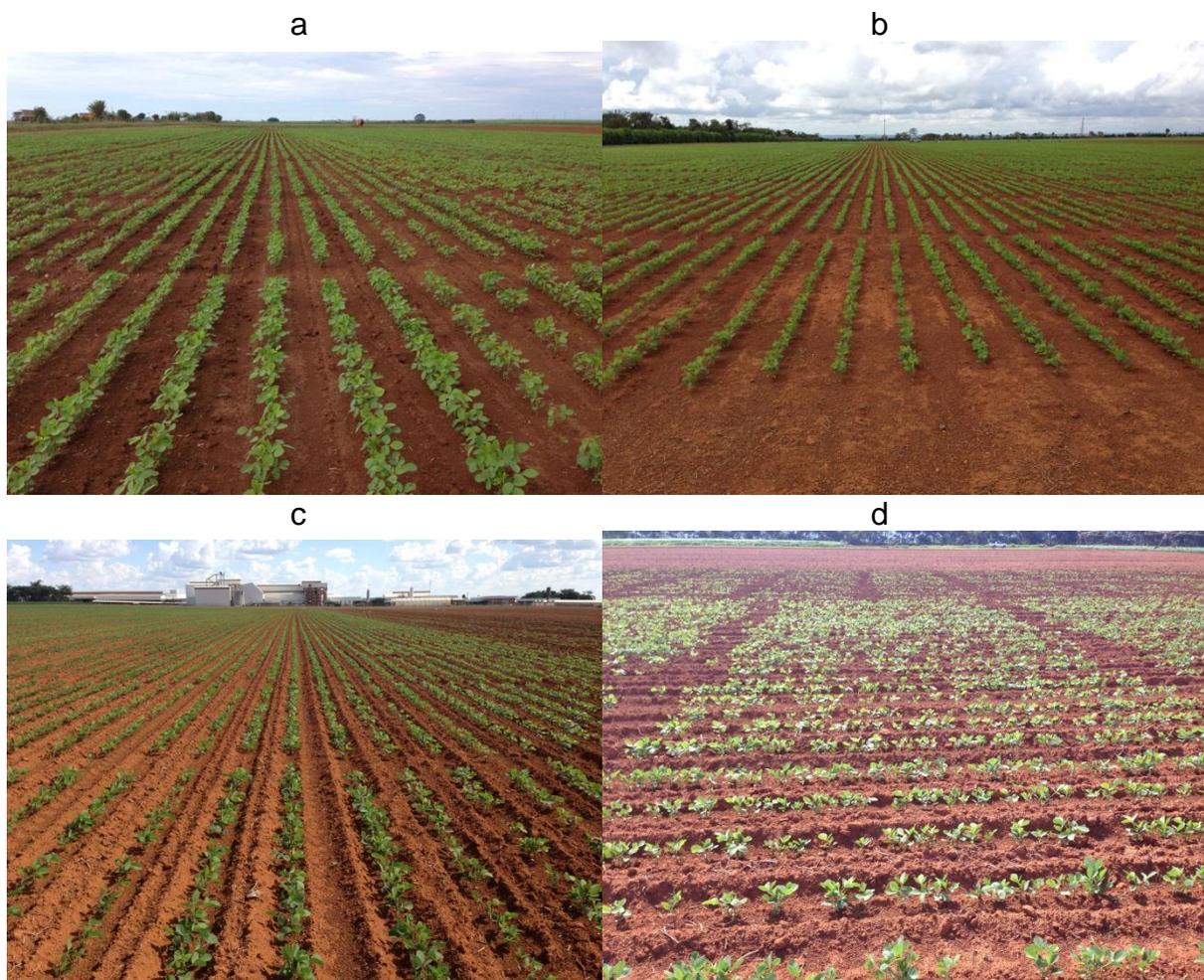


Figura 2. Imagens registradas durante a fase vegetativa das progênes. a=fase vegetativa em Sorriso em novembro de 2014, b=fase vegetativa na estação de Planaltina em dezembro de 2014 e c,d=fase vegetativa na estação de Planaltina em dezembro de 2015.

Tabela 6. Resumo da análise de variância conjunta das características avaliadas nos experimentos conduzidos em Planaltina, DF e Sorriso, MT nas safras 2014/2015 e 2015/2016

Fonte de variação	GL <sup>a</sup>	PG <sup>b</sup>	EP <sup>b</sup>	AltPl <sup>b</sup>	AvaPa <sup>b</sup>	NACA <sup>b</sup>	AVT <sup>b</sup>	Mat <sup>b</sup>
Ambiente	2	---	---	---	---	---	---	---
Rep(Ambiente)	6	---	---	---	---	---	---	---
População	3	6363671*	655 <sup>ns</sup>	4984 <sup>ns</sup>	528 <sup>ns</sup>	9509 <sup>ns</sup>	1352 <sup>ns</sup>	1854 <sup>ns</sup>
Classe	4	990794 <sup>ns</sup>	257 <sup>ns</sup>	11914**	464 <sup>ns</sup>	2499 <sup>ns</sup>	7617*	1764*
População*Classe	12	231415 <sup>ns</sup>	93 <sup>ns</sup>	613**	154 <sup>ns</sup>	1303 <sup>ns</sup>	279 <sup>ns</sup>	142 <sup>ns</sup>
Ambiente*População	4	526594**	268 <sup>ns</sup>	1249**	198**	2690**	1570**	473**
Ambiente*Classe	7	478799**	234 <sup>ns</sup>	634**	454**	2782**	1412**	277**
Ambiente*População*Classe	15	166201*	217 <sup>ns</sup>	77 <sup>ns</sup>	152**	1057**	178*	57**
Erro	1124	90199	129	104	45	254	103	14
CV (%)		10,6	13,2	10,8	8,2	20,6	15,3	3,0

<sup>a</sup> GL=graus de liberdade.

<sup>b</sup> PG=produtividade de grãos, EP=emergência de plântulas, AltPl=altura de planta, AvaPa=avaliação de parcela, NACA=não-acamadas, AVT=avaliação visual do tratamento e Mat=maturação.

<sup>ns</sup> Não significante; \* e \*\* Significante ao nível de 0,05 e 0,01 de probabilidade, respectivamente.

Tabela 7. Média das características avaliadas nos experimentos conduzidos em Planaltina (Plan), DF e Sorriso (Sorr), MT, nas safras 2014/2015 e 2015/2016. Para as características que apresentaram diferença significativa, aplicou-se o teste Tukey ( $p < 0,05$ )

Descrição	Variável	PG kg ha <sup>-1</sup>	EP %	AltPI cm	AvaPa %	Naca %	AVT %	Mat dias
Média	Todos ambientes	2826	86	94	82	77	66	124
Média amb	Planaltina_14	2896	91	91	96	87	69	140
Média amb	Sorriso_14	2537	76	91	61	84	72	107
Média amb	Planaltina_15	3264	94	108	91	38	48	120
Média das quatro populações	Pop001	2965 <sup>b</sup>	86	96	81	73	65	125
	Pop002	3007 <sup>b</sup>	89	91	83	76	64	121
	Pop003	2529 <sup>a</sup>	85	95	81	78	67	127
	Pop004	2675 <sup>a</sup>	82	94	80	85	71	124
Média das cinco classes	Nulo	2826	85	98 <sup>b</sup>	82	73	63 <sup>a</sup>	125 <sup>b</sup>
	Als1	2837	86	96 <sup>b</sup>	83	77	64 <sup>a</sup>	125 <sup>b</sup>
	Als2	2685	85	95 <sup>b</sup>	79	82	69 <sup>ab</sup>	126 <sup>b</sup>
	Als1+2	2835	87	95 <sup>b</sup>	82	78	64 <sup>a</sup>	124 <sup>b</sup>
	Testemunha	3036	88	78 <sup>a</sup>	86	78	79 <sup>b</sup>	116 <sup>a</sup>
Média da interação população x classe	P001xNulo	2994	85	102 <sup>h</sup>	81	72	59	124
	P001xAls1	3009	87	98 <sup>fgh</sup>	81	69	62	125
	P001xAls2	2689	85	93 <sup>defg</sup>	78	87	72	131
	P001xAls1+2	3005	87	100 <sup>gh</sup>	83	70	63	124
	P001xTest	3118	88	81 <sup>bc</sup>	87	68	78	116
	P002xNulo	3007	90	94 <sup>efg</sup>	86	72	62	121
	P002xAls1	2969	89	96 <sup>efgh</sup>	84	74	59	121
	P002xAls2	2906	86	86 <sup>cd</sup>	77	88	73	121
	P002xAls1+2	3016	89	95 <sup>efgh</sup>	83	79	58	121
	P002xTest	3205	90	80 <sup>bc</sup>	89	66	78	117
	P003xNulo	2520	82	100 <sup>gh</sup>	80	66	63	130
	P003xAls1	2447	84	91 <sup>def</sup>	83	82	67	128
	P003xAls2	2560	86	100 <sup>gh</sup>	81	78	66	128
	P003xAls1+2	2475	87	96 <sup>efgh</sup>	81	77	66	128
	P003xTest	2797	87	74 <sup>ab</sup>	81	97	81	116
	P004xNulo	2634	80	97 <sup>fgh</sup>	79	82	69	126
P004xAls1	2748	81	97 <sup>fgh</sup>	82	89	72	126	
P004xAls2	2592	84	102 <sup>h</sup>	79	76	68	124	
P004xAls1+2	2676	83	89 <sup>de</sup>	79	88	72	124	
P004xTest	2822	87	71 <sup>a</sup>	82	98	81	115	
Média da interação ambiente x população	Plan14xP001	2944 <sup>c</sup>	91	93 <sup>cd</sup>	93 <sup>bc</sup>	92 <sup>e</sup>	71 <sup>c</sup>	140 <sup>g</sup>
	Plan14xP002	3082 <sup>d</sup>	93	85 <sup>ab</sup>	96 <sup>cd</sup>	93 <sup>e</sup>	73 <sup>c</sup>	137 <sup>f</sup>
	Plan14xP003	2689 <sup>b</sup>	91	95 <sup>de</sup>	99 <sup>d</sup>	77 <sup>c</sup>	63 <sup>b</sup>	144 <sup>h</sup>
	Plan14xP004	2875 <sup>c</sup>	90	91 <sup>cd</sup>	96 <sup>cd</sup>	87 <sup>de</sup>	69 <sup>c</sup>	139 <sup>g</sup>
	Sorr14xP001	2662 <sup>b</sup>	74	89 <sup>abc</sup>	60 <sup>a</sup>	90 <sup>e</sup>	72 <sup>c</sup>	111 <sup>d</sup>
	Sorr14xP002	2711 <sup>b</sup>	79	84 <sup>a</sup>	62 <sup>a</sup>	87 <sup>de</sup>	71 <sup>c</sup>	103 <sup>a</sup>
	Sorr14xP003	2350 <sup>a</sup>	78	95 <sup>de</sup>	61 <sup>a</sup>	79 <sup>c</sup>	72 <sup>c</sup>	109 <sup>c</sup>
	Sorr14xP004	2438 <sup>a</sup>	73	98 <sup>e</sup>	60 <sup>a</sup>	82 <sup>cd</sup>	73 <sup>c</sup>	106 <sup>b</sup>
Média da interação ambiente x classe	Plan15xP001	3311 <sup>e</sup>	94	109 <sup>f</sup>	90 <sup>b</sup>	31 <sup>a</sup>	50 <sup>a</sup>	120 <sup>e</sup>
	Plan15xP002	3219 <sup>e</sup>	94	108 <sup>f</sup>	91 <sup>b</sup>	45 <sup>b</sup>	46 <sup>a</sup>	119 <sup>e</sup>
	Plan14xNulo	2899 <sup>b</sup>	90	95 <sup>c</sup>	96 <sup>d</sup>	84 <sup>c</sup>	65 <sup>b</sup>	142 <sup>f</sup>
	Plan14xAls1	2901 <sup>b</sup>	90	93 <sup>c</sup>	96 <sup>d</sup>	88 <sup>c</sup>	69 <sup>bc</sup>	141 <sup>f</sup>
	Plan14xAls2	2868 <sup>b</sup>	92	95 <sup>c</sup>	96 <sup>d</sup>	83 <sup>c</sup>	67 <sup>bc</sup>	141 <sup>f</sup>
	Plan14xAls1+2	2901 <sup>b</sup>	92	91 <sup>c</sup>	96 <sup>d</sup>	88 <sup>c</sup>	69 <sup>bc</sup>	141 <sup>f</sup>
	Plan14xTest	2935 <sup>b</sup>	93	66 <sup>a</sup>	96 <sup>d</sup>	98 <sup>d</sup>	85 <sup>e</sup>	129 <sup>e</sup>
	Sorr14xNulo	2556 <sup>a</sup>	74	93 <sup>c</sup>	60 <sup>a</sup>	81 <sup>c</sup>	72 <sup>c</sup>	108 <sup>bc</sup>
	Sorr14xAls1	2523 <sup>a</sup>	75	91 <sup>c</sup>	62 <sup>a</sup>	86 <sup>c</sup>	70 <sup>bc</sup>	108 <sup>bc</sup>
	Sorr14xAls2	2480 <sup>a</sup>	77	95 <sup>c</sup>	59 <sup>a</sup>	80 <sup>c</sup>	72 <sup>c</sup>	110 <sup>c</sup>
	Sorr14xAls1+2	2469 <sup>a</sup>	76	91 <sup>c</sup>	59 <sup>a</sup>	85 <sup>c</sup>	71 <sup>c</sup>	107 <sup>b</sup>
	Sorr14xTest	2831 <sup>b</sup>	81	80 <sup>b</sup>	71 <sup>b</sup>	98 <sup>d</sup>	78 <sup>d</sup>	101 <sup>a</sup>

Tabela 7. (Continuação)

Descrição	Variável	PG kg ha <sup>-1</sup>	EP %	AltPI cm	AvaPa %	Naca %	AVT %	Mat dias
	Plan15xNulo	3122 <sup>c</sup>	94	113 <sup>d</sup>	90 <sup>c</sup>	38 <sup>b</sup>	43 <sup>a</sup>	120 <sup>d</sup>
	Plan15xAls1	3238 <sup>cd</sup>	96	111 <sup>d</sup>	90 <sup>c</sup>	40 <sup>b</sup>	44 <sup>a</sup>	120 <sup>d</sup>
	Plan15xAls1+2	3331 <sup>de</sup>	94	111 <sup>d</sup>	90 <sup>c</sup>	44 <sup>b</sup>	42 <sup>a</sup>	120 <sup>d</sup>
	Plan15xTest	3445 <sup>e</sup>	91	92 <sup>c</sup>	93 <sup>cd</sup>	23 <sup>a</sup>	72 <sup>c</sup>	118 <sup>d</sup>
	Plan14xP001xNulo	2942 <sup>hijklmno</sup>	87	98	90 <sup>ef</sup>	92 <sup>hij</sup>	68 <sup>cdef</sup>	141 <sup>klm</sup>
	Plan14xP001xAls1	2958 <sup>hijklmno</sup>	90	94	93 <sup>efg</sup>	93 <sup>hij</sup>	70 <sup>cdef</sup>	142 <sup>klmn</sup>
	Plan14xP001xAls2	2922 <sup>ghijklmno</sup>	91	95	94 <sup>efg</sup>	86 <sup>fghij</sup>	69 <sup>cdef</sup>	142 <sup>klmn</sup>
	Plan14xP001xAls1+2	2936 <sup>hijklmno</sup>	93	96	94 <sup>efg</sup>	94 <sup>hij</sup>	71 <sup>def</sup>	140 <sup>kl</sup>
	Plan14xP001xTest	2984 <sup>hijklmno</sup>	94	69	97 <sup>fg</sup>	97 <sup>ij</sup>	86 <sup>h</sup>	129 <sup>j</sup>
	Plan14xP002xNulo	3122 <sup>lmnop</sup>	92	87	96 <sup>fg</sup>	94 <sup>hij</sup>	72 <sup>def</sup>	138 <sup>k</sup>
	Plan14xP002xAls1	3085 <sup>klmnop</sup>	91	88	96 <sup>fg</sup>	89 <sup>fghij</sup>	69 <sup>cdef</sup>	138 <sup>k</sup>
	Plan14xP002xAls2	3033 <sup>ijklmno</sup>	96	88	95 <sup>efg</sup>	94 <sup>hij</sup>	74 <sup>efg</sup>	138 <sup>k</sup>
	Plan14xP002xAls1+2	3090 <sup>klmnop</sup>	93	87	97 <sup>fg</sup>	93 <sup>hij</sup>	73 <sup>efg</sup>	138 <sup>k</sup>
	Plan14xP002xTest	3067 <sup>ijklmno</sup>	95	67	97 <sup>fg</sup>	98 <sup>j</sup>	86 <sup>h</sup>	129 <sup>j</sup>
	Plan14xP003xNulo	2676 <sup>bcdefgh</sup>	91	103	99 <sup>g</sup>	61 <sup>de</sup>	59 <sup>bc</sup>	146 <sup>n</sup>
	Plan14xP003xAls1	2588 <sup>abcdefg</sup>	90	93	99 <sup>g</sup>	82 <sup>fghij</sup>	65 <sup>cde</sup>	144 <sup>lmn</sup>
	Plan14xP003xAls2	2740 <sup>defghij</sup>	92	100	99 <sup>g</sup>	77 <sup>efgh</sup>	61 <sup>cd</sup>	145 <sup>mn</sup>
	Plan14xP003xAls1+2	2690 <sup>cdefghi</sup>	92	96	99 <sup>g</sup>	77 <sup>efgh</sup>	63 <sup>cde</sup>	146 <sup>n</sup>
	Plan14xP003xTest	2843 <sup>fghijklm</sup>	90	65	94 <sup>efg</sup>	98 <sup>j</sup>	84 <sup>gh</sup>	129 <sup>j</sup>
	Plan14xP004xNulo	2860 <sup>fghijklm</sup>	89	94	99 <sup>g</sup>	88 <sup>fghij</sup>	65 <sup>cde</sup>	141 <sup>klm</sup>
	Plan14xP004xAls1	2970 <sup>hijklmno</sup>	90	96	96 <sup>fg</sup>	90 <sup>ghij</sup>	70 <sup>cdef</sup>	141 <sup>klm</sup>
	Plan14xP004xAls2	2784 <sup>efghijkl</sup>	91	98	97 <sup>fg</sup>	78 <sup>efgh</sup>	66 <sup>cde</sup>	140 <sup>kl</sup>
	Plan14xP004xAls1+2	2895 <sup>ghijklmn</sup>	90	86	96 <sup>fg</sup>	90 <sup>ghij</sup>	70 <sup>cdef</sup>	140 <sup>kl</sup>
	Plan14xP004xTest	2838 <sup>fghijklm</sup>	92	64	92 <sup>efg</sup>	97 <sup>ij</sup>	84 <sup>gh</sup>	129 <sup>j</sup>
	Sorr14xP001xNulo	2809 <sup>efghijkl</sup>	70	91	61 <sup>a</sup>	88 <sup>fghij</sup>	69 <sup>cdef</sup>	109 <sup>efgh</sup>
	Sorr14xP001xAls1	2794 <sup>efghijkl</sup>	75	89	58 <sup>a</sup>	87 <sup>fghij</sup>	68 <sup>cdef</sup>	112 <sup>h</sup>
	Sorr14xP001xAls2	2421 <sup>abcd</sup>	79	91	59 <sup>a</sup>	87 <sup>fghij</sup>	74 <sup>efg</sup>	119 <sup>i</sup>
	Sorr14xP001xAls1+2	2583 <sup>abcdefg</sup>	70	90	59 <sup>a</sup>	94 <sup>hij</sup>	71 <sup>def</sup>	108 <sup>efgh</sup>
	Sorr14xP001xTest	2795 <sup>efghijkl</sup>	78	82	70 <sup>cd</sup>	99 <sup>j</sup>	78 <sup>fg</sup>	101 <sup>ab</sup>
	Sorr14xP002xNulo	2774 <sup>efghijk</sup>	83	84	68 <sup>bcd</sup>	91 <sup>ghij</sup>	73 <sup>efg</sup>	103 <sup>abcd</sup>
	Sorr14xP002xAls1	2520 <sup>abcdef</sup>	78	85	62 <sup>ab</sup>	86 <sup>fghij</sup>	70 <sup>cdef</sup>	103 <sup>abcd</sup>
	Sorr14xP002xAls2	2770 <sup>efghijk</sup>	74	84	57 <sup>a</sup>	82 <sup>fghij</sup>	71 <sup>def</sup>	103 <sup>abcd</sup>
	Sorr14xP002xAls1+2	2661 <sup>bcdefgh</sup>	79	85	59 <sup>a</sup>	83 <sup>fghij</sup>	68 <sup>cdef</sup>	103 <sup>abcd</sup>
	Sorr14xP002xTest	2996 <sup>hijklmno</sup>	82	74	73 <sup>d</sup>	98 <sup>j</sup>	78 <sup>fg</sup>	100 <sup>a</sup>
	Sorr14xP003xNulo	2340 <sup>ab</sup>	72	96	57 <sup>a</sup>	71 <sup>ef</sup>	73 <sup>efg</sup>	111 <sup>gh</sup>
	Sorr14xP003xAls1	2275 <sup>a</sup>	78	90	64 <sup>abc</sup>	82 <sup>fghij</sup>	70 <sup>cdef</sup>	108 <sup>efgh</sup>
	Sorr14xP003xAls2	2359 <sup>abc</sup>	79	101	60 <sup>a</sup>	79 <sup>efghi</sup>	72 <sup>def</sup>	110 <sup>fgh</sup>
	Sorr14xP003xAls1+2	2245 <sup>a</sup>	81	97	62 <sup>ab</sup>	78 <sup>efgh</sup>	71 <sup>def</sup>	110 <sup>fgh</sup>
	Sorr14xP003xTest	2752 <sup>defghijk</sup>	83	82	69 <sup>bcd</sup>	97 <sup>j</sup>	78 <sup>fg</sup>	102 <sup>abc</sup>
	Sorr14xP004xNulo	2374 <sup>abc</sup>	70	101	57 <sup>a</sup>	76 <sup>efgh</sup>	73 <sup>efg</sup>	109 <sup>efgh</sup>
	Sorr14xP004xAls1	2470 <sup>abcde</sup>	70	99	64 <sup>abc</sup>	87 <sup>fghij</sup>	74 <sup>efg</sup>	107 <sup>defg</sup>
	Sorr14xP004xAls2	2369 <sup>abc</sup>	77	107	58 <sup>a</sup>	73 <sup>efg</sup>	70 <sup>cdef</sup>	106 <sup>cdef</sup>
	Sorr14xP004xAls1+2	2412 <sup>abcd</sup>	74	91	58 <sup>a</sup>	87 <sup>fghij</sup>	74 <sup>efg</sup>	105 <sup>bcde</sup>
	Sorr14xP004xTest	2803 <sup>efghijkl</sup>	80	80	70 <sup>cd</sup>	99 <sup>j</sup>	78 <sup>fg</sup>	99 <sup>a</sup>
	Plan15xP001xNulo	3169 <sup>mnpq</sup>	94	116	88 <sup>e</sup>	42 <sup>bc</sup>	43 <sup>a</sup>	120 <sup>i</sup>
	Plan15xP001xAls1	3262 <sup>opq</sup>	96	109	90 <sup>ef</sup>	30 <sup>ab</sup>	48 <sup>ab</sup>	121 <sup>i</sup>
	Plan15xP001xAls1+2	3411 <sup>pq</sup>	94	112	90 <sup>ef</sup>	27 <sup>ab</sup>	49 <sup>ab</sup>	121 <sup>i</sup>
	Plan15xP001xTest	3483 <sup>q</sup>	92	90	92 <sup>efg</sup>	20 <sup>a</sup>	73 <sup>efg</sup>	118 <sup>i</sup>
	Plan15xP002xNulo	3077 <sup>ijklmnop</sup>	93	110	91 <sup>ef</sup>	34 <sup>abc</sup>	44 <sup>a</sup>	120 <sup>i</sup>
	Plan15xP002xAls1	3214 <sup>nopq</sup>	96	112	91 <sup>ef</sup>	50 <sup>cd</sup>	40 <sup>a</sup>	119 <sup>i</sup>
	Plan15xP002xAls1+2	3250 <sup>opq</sup>	93	111	90 <sup>ef</sup>	61 <sup>de</sup>	39 <sup>a</sup>	119 <sup>i</sup>
	Plan15xP002xTest	3414 <sup>pq</sup>	91	93	93 <sup>efg</sup>	26 <sup>ab</sup>	72 <sup>def</sup>	118 <sup>i</sup>

Médias com letra diferente em uma coluna dentro de uma fonte de variação são estatisticamente diferentes de acordo com o teste Tukey (P<0.05).

PG=produtividade de grãos, EP=emergência de plântulas, AltPI=altura de planta, AvaPa=avaliação de parcela, NAc=não-acamadas, AVT=avaliação visual do tratamento e Mat=maturação.

Para emergência de plântulas, nenhuma fonte de variação apresentou diferença significativa (Tabela 6). Porém foi observado que o experimento conduzido em Sorriso apresentou uma média inferior aos demais ambientes (Tabela 7) o que pode ter afetado negativamente a média de produtividade desse local.

A altura de plantas foi estatisticamente diferente para as fontes de variação classe, população\*classe, ambiente\*população e ambiente\*classe (Tabela 6). Em classe, a diferença esteve associada às testemunhas que foram mais baixas que as classes genóticas dos alelos *Als1* e *Als2* (Tabela 7). Essa diferença está altamente associada ao ciclo dos genótipos avaliados. As testemunhas atingiram a maturação significativamente antes do que as classes genóticas o que refletiu nas interações envolvendo classe onde sempre as testemunhas foram mais baixas. Outro fato relevante nessas interações é a menor altura da classe *Als2* nas populações 1 e 2. Isso se deve ao fato dessa classe não ter sido plantada na segunda safra em Planaltina quando as plantas atingiram uma maior altura. Comparando as populações nos ambientes, a Pop002 foi significativamente mais baixa que as demais populações em Sorriso e Planaltina na safra 2014/2015. Nessa mesma safra, em Planaltina, a população mais alta foi a Pop003 enquanto que em Sorriso as mais altas foram Pop004 e Pop003 (Tabela 7). Na safra seguinte em Planaltina, as populações foram significativamente mais altas que nos demais ambientes, portanto, mais sujeitas ao acamamento.

Outra característica que refletiu às condições ambientais foi avaliação da parcela, que foi significativamente diferente para ambiente\*população, ambiente\*classe e ambiente\*população\*classe (Tabela 6). Todas as interações significativamente diferentes estiveram associadas a ambiente. Em Sorriso tanto as populações quanto as classes foram estatisticamente inferiores comparadas com

Planaltina. No experimento de Sorriso as testemunhas foram mais tolerantes as condições adversas e tiveram notas superiores quando comparadas com as classes genóticas (Tabela 7). Essa superioridade das testemunhas se deve principalmente às condições adversas durante a emergência e crescimento inicial da cultura em Sorriso. Devido ao processo de melhoramento pela qual foram submetidas às testemunhas, essas têm a maior capacidade de sobressair em condições desfavoráveis comparado com as progênies, que foram desenvolvidas com o intuito de avaliar os alelos *Als1* e *Als2*.

Três fontes de variação foram diferentes estatisticamente para plantas não-acamadas; ambiente\*população, ambiente\*classe e ambiente\*população\*classe (Tabela 6). Devido ao processo de seleção e a menor altura de plantas das testemunhas, essas acamaram menos em 2014/2015 e apresentaram um desempenho melhor que as classes genóticas. Nessa mesma safra, entre as populações, as que se destacaram foram Pop001 e Pop002 sendo de maneira geral superiores as demais populações. Em 2015/2016, devido a maior altura atingida por todos os genótipos desse ambiente, esses acamaram significativamente mais do que na safra anterior, porém esse acamamento foi na fase final do ciclo o que não ocasionou diminuição da produtividade e da qualidade das sementes, uma vez que não teve precipitação enquanto os genótipos estavam acamados (Tabela 7).

Na avaliação visual do tratamento houve diferença para classe, ambiente\*população, ambiente\*classe e ambiente\*população\*classe (Tabela 6). A classe testemunha foi estatisticamente superior às demais, exceto *Als2* (Tabela 7). Essa classe apesar de estatisticamente igual às outras classes do gene foi ligeiramente superior. Isso se deve ao fato de *Als2* não ter sido plantada em 2015/2016 onde a avaliação visual do tratamento foi em média muito inferior aos ambientes da safra

anterior (Tabela 6) devido principalmente a maior altura de plantas e conseqüente ao maior índice de acamamento. Em Sorriso, as populações tiveram um comportamento visual bastante semelhante e foram estatisticamente iguais, porém em Planaltina na primeira safra, as populações Pop001 e principalmente Pop002 se destacaram (Tabela 7; Figura 3). A Pop002 mostrou-se altamente homogênea e suas classes genóticas estavam bastante similares e dessa forma, difícil de destacar qualquer diferença entre elas (Figuras 3 e 4). Apesar da menor homogeneidade das demais populações, essas também apresentaram alta semelhança entre as quatro classes genóticas dos genes *Als1* e *Als2* em todos os ambientes. Na segunda safra em Planaltina, os genótipos foram afetados negativamente pelo alto índice de acamamento registrado no final do ciclo da cultura (Tabela 7; Figura 5).

Para a característica maturação, os genótipos em Sorriso completaram o ciclo mais rápido do que em Planaltina (Tabela 7). Isso se deve à posição geográfica dos locais avaliados. A latitude e altitude influenciam o comprimento do dia e a temperatura durante o dia e a noite fazendo com que os genótipos de soja acelerem o ciclo em Sorriso comparado com Planaltina. Em Planaltina na segunda safra, os genótipos completaram o ciclo em um período menor de tempo devido à falta de precipitação no final do ciclo acelerando o processo de secagem natural (Tabela 7). As fontes de variação classe, ambiente\*população, ambiente\*classe e ambiente\*população\*classe foram significativamente diferentes para essa característica (Tabela 6). As testemunhas completaram o ciclo mais rápido que as classes genóticas tanto em Sorriso quanto em Planaltina. As classes genóticas não diferiram entre elas. Entre as populações, para a primeira safra, a Pop002 foi significativamente mais precoce que as demais populações. Em Sorriso a Pop001 foi a mais tardia enquanto que em Planaltina a Pop003 foi a que exigiu mais tempo para atingir a maturação. Na segunda

safra as duas populações tiveram comportamento similar para essa característica (Tabela 7).

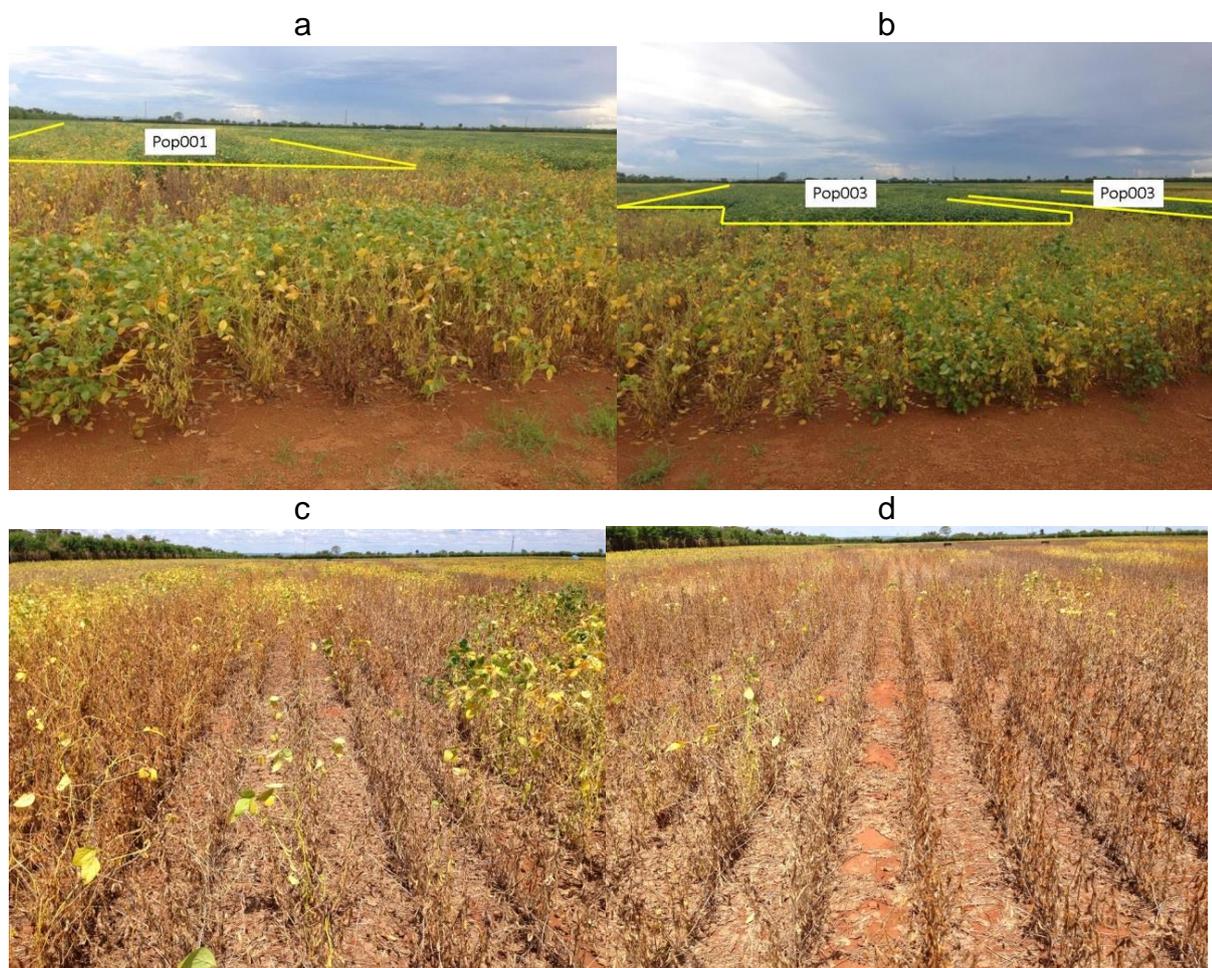


Figura 3. Imagens registradas em Planaltina na safra 2014/2015. a=Pop001 e b=Pop003 destacadas com linhas amarelas em março de 2015, c=Pop001 e d=Pop002 na fase de maturação em abril de 2015.

É importante ressaltar que foram avaliadas diferentes progênies de cada população e que para o lançamento de novas variedades contendo os alelos de resistência as sulfoniluréias é necessário selecionar as melhores progênies e que essas passem por todo o processo de um programa de melhoramento.



Figura 4. Imagens registradas na estação de Planaltina, em fevereiro de 2015, da Pop002 separando as classes genotípicas; nulas, Als1, Als2 e Als1+Als2.

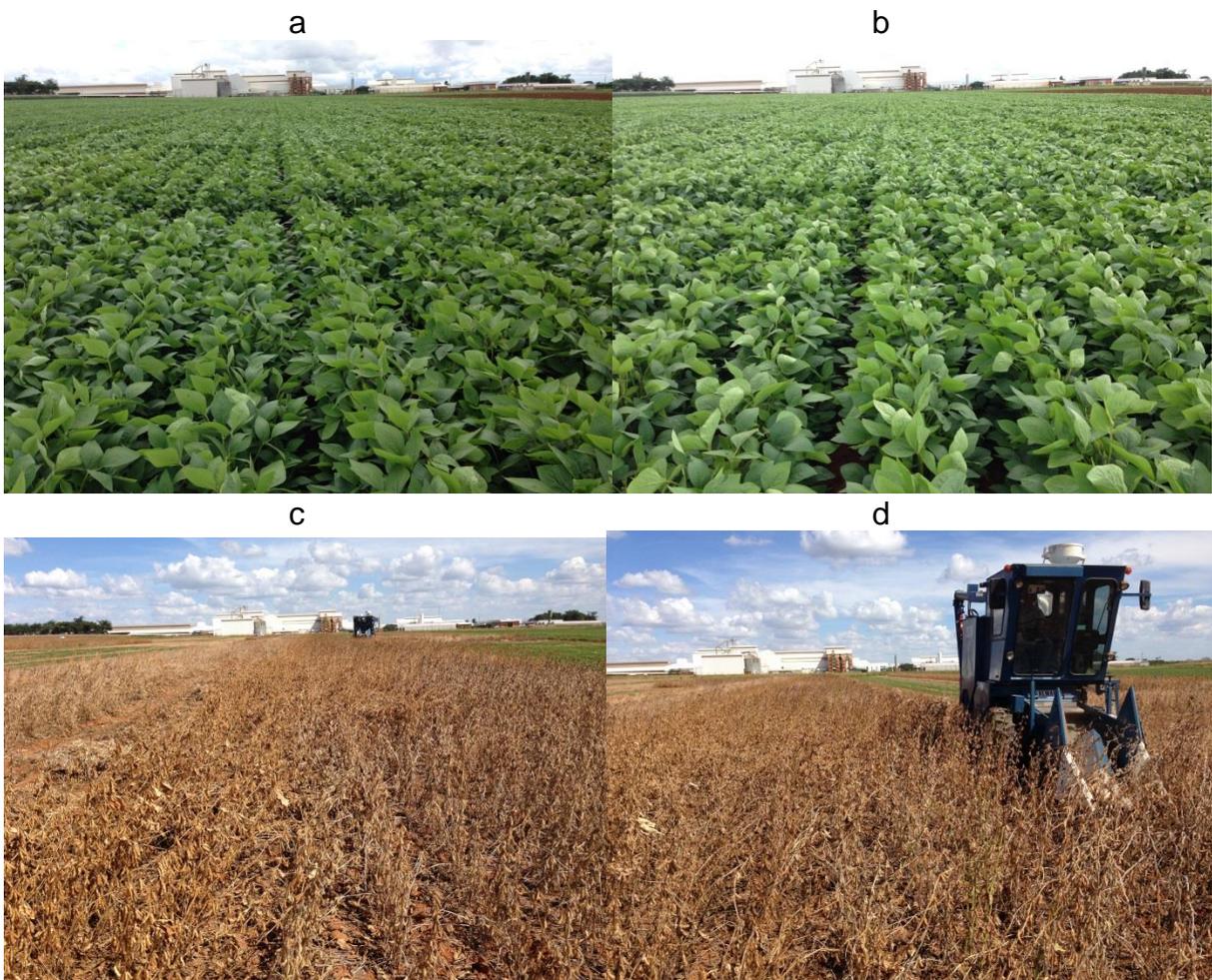


Figura 5. Imagens registradas em Planaltina na safra 2015/2016. a,b=vista frontal do experimento em janeiro de 2016 e c,d=experimento na fase de maturação sendo colhido em abril de 2016.

Não existem relatos na literatura comparando o efeito da adição dos alelos *Als1* e *Als2* em características agrônômicas em germoplasma de soja. Em transgenia, que

envolve a inclusão de um gene geralmente exógeno em um determinado germoplasma (SANFORD et al., 1987; SANFORD, 1988; GELVIN, 2003), existe a grande preocupação se sua inclusão poderá trazer danos agrônômicos como diminuição da produtividade, e alteração no ciclo da cultura, altura de planta, germinação, florescimento, entre outras características. Isso se deve principalmente pela inclusão de um gene que pode ser feita em uma região indesejável de um cromossomo, interrompendo genes endógenos, impedindo formação de proteínas essenciais ou causando a fusão de proteínas indesejáveis. Essas alterações podem resultar em fenótipos inadequados com menor expressão genética ou baixa produtividade (QUE et al., 2010).

Vários estudos (RAYMER, 1997; MINOR, 1998; DUFFY, 1999; MARKING, 1999; POWELL, 1999; ELMORE et al., 2001) relatam que a adição do gene transgênico de resistência ao glifosato de primeira geração em soja diminuiu a produtividade de grãos. Porém outra vertente de pesquisadores (DUVICK, 1996; HILLYER, 1999; CARPENTER, 2001) afirmam que isso aconteceu porque o gene transgênico foi introduzido em germoplasma que não eram superiores e a diminuição de produtividade era por causa do germoplasma e não ao gene transgênico e assim, com a introdução no mercado de novos cultivares superiores com o gene essa diferença em produtividade iria diminuir até chegar ao ponto de inexistir. Ademais, HUNGRIA et al. (2014) não relataram diminuição no rendimento da soja modificada geneticamente comparada com a sua versão não-transgênica.

A indução mutagênica para a geração de variabilidade e, conseqüentemente, o aparecimento de novas formas de um gene pode também gerar a desconfiança de que esse alelo mutante pode ocasionar alterações na formação de proteínas

essências, desenvolvimento de proteínas impróprias e o surgimento de fenótipos indesejáveis.

Em soja o gene mutante *FAD2-1A*, encontrado no cultivar M23, que confere maior qualidade do óleo das sementes de soja através do aumento do ácido oleico, está frequentemente associado com redução na produtividade de grãos (SCHERDER; FEHR, 2008; CLEMENTE; CAHOON, 2009).

Na cultura do tomateiro, o impacto da mutação conhecida como *ovate* que promove uma drástica alteração no formato do fruto de tomate também ocasionou alterações negativas no fenótipo. Essa mutação causou a diminuição no teor de sólidos solúveis, peso médio dos frutos e sementes, pegamento dos frutos e produtividade (FARIA, 2014).

Por outro lado, outras mutações não causaram alteração significativa em características agronômicas. A indução mutagênica através de irradiação gama no cultivar de trigo Anahuac gerou linhagens mutantes tolerantes à toxicidade de alumínio. Em estudo (CAMARGO et al., 1997) comparando essas linhagens mutantes com cultivares de trigo como Anahuac, IAC-60 e IAC-24 comprovou que as mutantes apresentaram as características agronômicas altura de planta, ciclo da emergência ao florescimento, comprimento da espiga, número de espiguetas por espiga, número de grãos por espiga e espiguetas e peso de 100 grãos similar a cultivar original, porém com tolerância à toxicidade de  $Al^{3+}$ , tornando possível o seu cultivo em solos ácidos.

Em outro trabalho, com trigo durum, SPANO et al. (2003) trabalharam com quatro mutantes com a capacidade de atrasar a senescência da folha. Eles concluíram que o período prolongado de competência fotossintética da folha bandeira nas linhas mutantes gerou maiores peso de sementes e rendimento de grãos por planta nas linhas mutantes em comparação com suas linhas parentais.

Em figueira, o processo de mutação também induzido por irradiação com raios gama e que teve como intuito aumentar a variabilidade genética gerou cinco linhagens mutantes que foram avaliadas em teste de desempenho comparando-as com outros cultivares comerciais. Os resultados demonstraram que as linhagens mutantes tiveram desempenho similar aos comerciais e que a mutante PI-189 foi superior aos comerciais em características importantes como número de frutos por planta, massa média por fruto e produtividade (RODRIGUES et al., 2009).

A mutação gênica que gerou os alelos *Als1* e *Als2* foi do tipo substituição, alterando apenas um único aminoácido para cada gene (WALTER et al., 2014). Portanto, por ser uma alteração mínima, e em conjunto com os resultados desse trabalho, de maneira geral, não existe diferença estatística significativa entre as quatro classes dos alelos *Als1* e *Als2*.

De qualquer forma, futuros estudos para avaliar a adição dos alelos *Als1* e/ou *Als2* envolvendo progênies ou com variedades comerciais com germoplasma similar e em diferentes ambientes tornam-se cruciais para a confirmação de que a adição desses alelos não modifica características agronômicas da soja.

#### 4. CONCLUSÃO

Nas quatro populações avaliadas; Pop001 (BG4277/CD250RRSTS), Pop002 (98Y30/CD250RRSTS), Pop003 (YB84C12/CD250RRSTS) e Pop004 (XB85C12/CD250RRSTS); a incorporação dos alelos *Als1* e/ou *Als2* para resistência a sulfoniluréia não causa alterações significativas nas características agronômicas da soja.

As progênies de soja que continham os alelos mutantes para resistência as sulfoniluréias, *Als1* e/ou *Als2*, não diferem estatisticamente das progênies de soja sem os alelos mutantes, demonstrando que a adição dos alelos *Als1* e/ou *Als2* não interferem nas características agronômicas da soja.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAMARGO, C.E.O.; TULMANN NETO, A.; FERREIRA FILHO, A.W.P.; FELÍCIO, J.C.; DE CASTRO, J.L.; PETTINELLI JR, A. Novos genótipos de trigo (*Triticum aestivum* L.) obtidos por irradiação gama. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 54, p. 195-202, 1997.

CARPENTER, J.E. Comparing Roundup Ready and conventional soybean yields: 1999. **National Center for Food and Agricultural Policy**, Washington, DC, 2001.

CLEMENTE, T.E.; CAHOON, E.B. Soybean oil: genetic approaches and modification of functionality and total content. **Plant Physiology**, v. 151, p. 1030-1040, 2009.

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.

DUFFY, M. Does planting GMO seed boost farmer's profits? In: LEOPOLD CENTER FOR SUSTAINABLE AGRICULTURE, 1999, Ames, IA. **Leopold Letter Fall**. Ames, IA: Iowa State University, 1999. v. 11, n. 3.

DUGGLEBY, R.G.; MCCOURT, J.A.; GUDDAT, L.W. Structure and mechanism of inhibition of plant acetohydroxyacid synthase. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 46, p. 309–324, 2008.

DUVICK, D.N. Seed company perspectives. In: Duke, S.O. **Herbicide-resistant crops: agricultural, environmental, economic, regulatory, and technical aspects**. Boca Raton, FL: Lewis Publishers, 1996. p. 253-262.

EBERLEIN, C.V.; GUTTIERI, M.J.; THILL, D.C.; BAERG, R.J. Altered acetolactate synthase activity in ALS - inhibitor resistant prickly lettuce (*Lactuca serriola*). **Weed Science**, v. 45, n. 2, p. 212-217, 1997.

ELMORE, R.W.; ROETH, F.W.; NELSON, L.A.; SHAPIRO, C.A.; KLEIN, R.N.; KNEZEVIC, S.Z.; MARTIN, A. Glyphosate-resistant soybean cultivar yields compared with sister lines. **Agronomy Journal**, v. 93, p. 408-412, 2001.

EMBRAPA SOJA. **Tecnologias de produção de soja – Região Central do Brasil – 2001/2002**. Londrina: Documentos 167, 2001, 267 p.

FARIA, J.P.B. **Alterações hormonais no mutante ovate de tomateiro (*Solanum lycopersicum* L. cv Micro-Tom) e seu impacto na morfologia, qualidade do fruto, produtividade e partenocarpia**. 2014. 68 f. Dissertação (Mestrado em Fisiologia e Bioquímica de Plantas). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.

FEHR, W.R.; CAVINESS, C.E.; BURMOOD, D.T.; PENNINGTON, J.S. Stage of development descriptions for soybeans, *Glycine max* (L.) Merrill. **Crop Science**, v. 11, p. 929-931, 1971.

GELVIN, S.B. Agrobacterium-mediated plant transformation: the biology behind the “gene-jockeying” tool. **Microbiology and Molecular Biology Reviews**, v. 67, p. 16-37, 2003.

GREEN, J.M. Review of glyphosate and ALS-inhibiting herbicide crop resistance and resistant weed management. **Weed Technology**, v. 21, p. 547–558, 2007.

GREEN, J.M.; OWEN, M.D.K. Herbicide-resistant crops: utilities and limitations for herbicide-resistant weed management. **Journal of Agricultural Food Chemistry**, v. 59, p. 5819–5829, 2010.

HILLYER, G. Biotechnology offers US farmers promises and problems. **AgBioForum**, v. 2, n. 2, p. 99-102, 1999.

HUNGRIA, M.; MENDES, I.C.; NAKATANI, A.S.; REIS-JR, F.B.; MORAIS, J.Z.; OLIVEIRA, M.C.N.; FERNANDES, M.F. Effects of glyphosate-resistant gene and herbicides on soybean crop: Field trials monitoring biological nitrogen fixation and yield. **Field Crop Research**, v. 158, p. 43–54, 2014.

MARKING, S. Roundup Ready yields – a summary of university soybean trials reveals slightly lower yield. **Soybean Digest**, p. 6-7, Mar. 1999.

MATIELLO, R.R.; RONZELLI JÚNIOR, P.; PURÍSSIMO, C. Mecanismos de resistência: fatores biológicos, agronômicos e genéticos. In: Curso De Manejo Da Resistência De Plantas Daninhas Aos Herbicidas, 2., 1999, Ponta Grossa. **Anais...** Ponta Grossa: AECG, 1999. p. 27-40.

MINOR, H. Performance of GMOs vs. traditional varieties: a southern perspective. p. 1–9. In: PROC. 28<sup>th</sup> SOYBEAN SEED RESEARCH CONF., 1998, Chicago, IL. **Dec. Am. Seed Trade Assoc.**, Washington, DC. 1998.

PONCHIO, J.A.R. **Resistência de *Bidens pilosa* L. aos herbicidas inibidores da enzima acetolactato sintase.** 1997. 138p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1997.

POWELL, D. **Roundup Ready soya and yield drag.** Dept. of Plant Agriculture of the University of Guelph, Ontario, Canada. 1999. Disponível em:

[www.oac.uoguelph.ca/riskcomm/plant-ag/gmo-soy-yieldddrag.htm](http://www.oac.uoguelph.ca/riskcomm/plant-ag/gmo-soy-yieldddrag.htm). Acesso em: 28 out 2015.

POWLES, S.B. Evolution in action: glyphosate-resistant weeds threaten world crops. **Outlooks on Pest Management** 19(6): 256-259, 2008.

QUE, Q.; CHILTON, M.D.M.; FONTES, C.M.; HE, C.; NUCCIO, M.; ZHU, T.; WU, Y.; CHEN, J.S.; SHI, L. Trait stacking in transgenic crops: challenges and opportunities , **GM Crops & Foods**, v. 1, n. 4, p. 220-229, 2010.

R CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. 2016. <https://www.R-project.org/>

RAMALHO, M.A.P.; FERREIRA, D.F.; OLIVEIRA, A.C. DE. **Experimentação Em Genética E Melhoramento De Plantas**. 3.Ed. Lavras: UFLA, 2012, 305p.

RAYMER, P.L. Agronomic performance of herbicide resistant varieties in the southeast. In: JIM PALMER PROC. 5<sup>th</sup> ANNU. SOUTHERN SOYBEAN CONF., 1997, Myrtle Beach, SC. **Conference**. Clemson Univ., Clemson, SC. 1997. p. 55.

RODRIGUES, M.G.F.; CORREA, L.S.; BOLIANI, A.C. Avaliação de seleções mutantes de figueira cv. Roxo-de-Valinhos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 31, n. 3, p. 771-777, 2009.

SANFORD, J. The biolistic process. **Trends Biotechnology**, Amsterdam, v. 6, p. 299-302, 1988.

SANFORD, J.; KLEIN, T.; WOLF, E.; ALLEN, N. Delivery of substances into cells and tissues using particle bombardment process. **Particulate Science Technology**, Philadelphia, v. 5, p. 27-37, 1987.

SCHERDER, C.W.; FEHR, W. R. Agronomic and seed characteristics of soybean lines with increased oleate content. **Crop Science**, v. 48, p. 1755-1758, 2008.

SEBASTIAN, S.A.; FADER, G.M.; ULRICH, J.F.; FORNEY, D.R.; CHALEFF, R.S. Semidominant soybean mutation for resistance to sulfonylurea herbicides. **Crop Science**, v. 29, p. 1403–1408, 1989.

SEBASTIAN, S.A. **Soybean plants with dominant selectable trait for herbicide resistance**. US Patent 5084082, 28 jan. 1992. 26p.

SHERMAN, T.D.; VAUGHN, K.C.; DUKE, S.O. Mechanisms of action and resistance to herbicides. In: DUKE, S. O. **Herbicide resistant crops**. Boca Raton, FL: CRC Press, 1996. p. 13-36.

SPANO, G.; DI FONZO, N.; PERROTTA, C.; PLATANI, C.; RONGA, G.; LAWLOR, D.W.; NAPIER, J.A.; SHEWRY, P.R. Physiological characterization of 'stay green' mutants in durum wheat. **Journal of Experimental Botany**, v. 54, p. 1415-1520, 2003.

VIDAL, R.A. **Herbicidas: Mecanismo de ação e resistência de plantas**. Porto Alegre: Ribas Vidal, 1997. 165p.

WALTER, K.L.; STRACHAN, S.D.; FERRY, N.M.; ALBERT, H.H.; CASTLE, L.A.; SEBASTIAN, S.A. Molecular and phenotypic characterization of Als1 and Als2 mutations conferring tolerance to acetolactate synthase herbicides in soybean. **Pest Management Science**, v. 70, p. 1831-1839, 2014.

YU, Q.; HAN, H.; VILA-AIUB, M.M.; POWLES, S.B. AHAS herbicide resistance endowing mutations: effect on AHAS functionality and plant growth. **Journal of Experimental Botany**, v. 61, p. 3925–3934, 2010.

ZAWOZNIK, M.S.; TOMARO, M.L. Effect of chlorimuron-ethyl on *Bradyrhizobium japonicum* and its symbiosis with soybean. **Pest Management Science**, v. 61, p. 1003-1008, 2005.

**CAPÍTULO 2 – REAÇÃO DE PROGÊNIES DE SOJA CONTENDO OS ALELOS  
*A/s1* E *A/s2* PARA RESISTÊNCIA A HERBICIDA DO GRUPO DAS  
SULFONILURÉIAS**

## RESUMO

Devido a crescente dificuldade no controle das plantas daninhas e a necessidade de novas formas de manejo, classes de herbicidas pouco utilizadas, como as sulfoniluréias, retornaram ao mercado. Com isso, genótipos de soja que apresentam os alelos mutantes de resistência as sulfoniluréias podem ganhar destaque. Este trabalho objetivou avaliar os efeitos da aplicação em pré-emergência do herbicida do grupo das sulfoniluréias em genótipos de soja contendo os alelos *Als1* e *Als1+Als2* e comparar sua seletividade a genótipos sem os alelos. Esse experimento foi conduzido na estação experimental da DuPont Pioneer de Planaltina, DF, na safra 2015/2016. Foram avaliadas 12 progênies provenientes de três classes: sem os alelos *Als1* e *Als2* (nula), *Als1* e *Als1+Als2*, sob quatro diferentes doses do herbicida. O experimento foi conduzido em blocos casualizados com arranjo em parcelas subdividas, com cinco repetições. As características avaliadas foram emergência de plântulas, altura de planta em diferentes estádios, avaliação da parcela, plantas não-acamadas, avaliação visual do tratamento, dano causado pelo herbicida em diferentes épocas, maturação e produtividade de grãos. Houve diferença significativa entre as classes para todas as características avaliadas, exceto avaliação da parcela. Isso indica a importância e a necessidade da presença dos alelos que conferem resistência ao herbicida utilizado nesse experimento do grupo das sulfoniluréias. A média de produtividade das classes *Als1* e *Als1+Als2*, 3692 e 3745 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, foram significativamente superiores à classe nula, 3554 kg ha<sup>-1</sup>. Este estudo permite concluir que as progênies que continham os alelos de resistência a sulfoniluréia foram estatisticamente superiores as progênies sem os alelos sob aplicação em pré-emergência do herbicida do grupo das sulfoniluréias.

**Palavras-chave:** *Als1*, *Als2*, resistência, soja, sulfoniluréias.

## ABSTRACT

Due to increase difficulty in weed control and the necessity of new methods for weed management, herbicide classes underused, such as sulfonylureas, returned to the market. With that, soybean genotypes that have sulfonylurea resistance mutant alleles may gain importance. This study aimed to evaluate the effects of pre-emergence sulfonylurea herbicide application in soybean genotypes containing *Als1* and *Als1+Als2* alleles and compare their selectivity to genotypes without the alleles. This experiment was conducted at DuPont Pioneer experimental station of Planaltina, DF, in 2015/2016 season. It was evaluated 12 genotypes from three classes: without *Als1* and *Als2* alleles (null), *Als1* and *Als1+Als2*, under four different herbicide doses. The experiment was conducted in randomized blocks with split plot arrangement, with five replicates. The evaluated traits were seedling emergence, plant height at different stages, plot evaluation, non-lodging plants, visual treatment evaluation, crop response to the herbicide at different times, maturity and grain yield. There was significant difference among classes for all traits, except plot evaluation. This fact indicates the importance and necessity of alleles presence that confer resistance to the sulfonylurea herbicide used in this experiment. The yield average of *Als1* and *Als1+Als2* classes, 3692 and 3745 kg ha<sup>-1</sup>, respectively, were significantly higher than the null class, 3554 kg ha<sup>-1</sup>. This study leads to the conclusion that progenies containing the sulfonylurea resistance alleles were statistically better than those without the alleles under pre-emergence sulfonylurea herbicide application.

**Key words:** *Als1*, *Als2*, resistance, soybean, sulfonylureas

## 1. INTRODUÇÃO

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] é uma fabaceae que tem sua origem na China e nesse mesmo país começou a ser cultivada. Apenas no século passado iniciou-se o seu cultivo na América Latina. Na atualidade é o principal produto agrícola brasileiro, ocupando posição de destaque na economia, e gerando importante fonte de capital e oportunidades de emprego (ITO; TANAKA, 1993). A soja tornou-se importante principalmente pelas suas principais características: grande produção de óleo e proteína por unidade de área, e longa capacidade de armazenamento. As sementes de soja contêm em torno de 40 % de proteína, 20 % de óleo, elevado conteúdo de aminoácidos essenciais e nutrientes, e alto valor calórico (NAKAMURA, 1980; COSTA et al., 2001).

Devido ao elevado potencial, a soja no Brasil encontra-se em constante crescimento de área. Na safra 2015/2016, a área plantada foi de 33,25 milhões de hectares enquanto que na safra 2016/2017 aumentou para 33,88 milhões de hectares, correspondendo a 56 % da área cultivada com grãos no país (CONAB, 2017; USDA, 2017). Outro aspecto relevante é a predominância do cultivo de soja transgênica contendo o gene RR (Round Ready), que confere resistência ao herbicida glifosato, com cerca de 96 % da área de soja no Brasil na safra 2016/2017 (CÉLERES, 2017). Com esse constante cultivo de soja RR e a contínua aplicação do herbicida glifosato, surgiram plantas daninhas resistentes a esse princípio ativo. A seleção de espécies resistentes está associada a mudanças genéticas na população sob pressão de seleção por esses produtos. Portanto, torna-se de fundamental importância a rotação dos mecanismos de ação dos herbicidas utilizados nas áreas de produção (VIDAL, 1997; POWLES, 2008).

Devido ao aparecimento de variedades resistentes e a necessidade de novas formas de manejo para o controle das plantas daninhas na cultura da soja, outros grupos de herbicidas pouco utilizados, como as sulfoniluréias, retornaram ao cenário agrícola demonstrando ser importante ferramenta e uma alternativa no controle de plantas resistentes ao glifosato (ZAWOZNIK; TOMARO, 2005; GREEN et al., 2008).

Com a intensificação do uso das sulfoniluréias, principalmente o princípio ativo clorimuron etílico, a retomada de cultivares de soja com maior resistência a esse grupo de herbicidas ganha destaque. Apesar de a sulfoniluréia ser uma molécula antiga, continua sendo muito utilizada mundialmente e em diferentes culturas. Essa classe química de herbicidas foi descoberta pela DuPont em 1975 e o seu primeiro herbicida foi comercializado nos Estados Unidos em 1982 (WALTER et al., 2014).

As sulfoniluréias podem promover o controle mais eficiente de plantas daninhas dicotiledôneas, como por exemplo a *Conyza* spp., que apresenta resistência ao glifosato. Foi relatado na literatura (VARGAS et al., 2007; MOREIRA et al., 2007; LAMEGO; VIDAL, 2008) resistência de *C. bonariensis* e *C. canadensis* ao glifosato. Por outro lado, SANTOS et al. (2012) relatou caso de resistência de *C. sumatrensis* ao glifosato e também ao clorimuron etílico do grupo das sulfoniluréias.

As sulfoniluréias são herbicidas que atuam bloqueando a síntese de aminoácidos essenciais através da inibição da enzima acetolactato sintase (ALS). ALS é a primeira enzima na biossíntese dos aminoácidos valina, leucina e isoleucina, catalisando duas reações paralelas: condensação de 2 moles de piruvato, para formar acetolactato; e condensação de 1 mol de piruvato com 1 mol de 2-oxibutirato, para formar aceto-hidrobutirato (EBERLEIN et al., 1997). A inibição dessa enzima interrompe a produção de proteínas, interferindo no crescimento celular e, conseqüentemente, ocasionando a morte da planta. Sulfoniluréias têm sido amplamente utilizadas em

mais de 80 países e em cerca de 25 culturas. Existe grande variedade de sulfoniluréias. Algumas efetivas no controle de todas as plantas, podendo ser utilizadas pelo setor industrial para eliminação completa da vegetação anual. Enquanto outros produtos são seletivos, agindo em algumas espécies e sendo tolerado por outras cujas plantas metabolizam o produto e se desintoxicam antes de sofrer danos significativos por inibição da atividade da ALS (SHERMAN et al., 1996; GREEN, 2007).

Através de mutações específicas nos genes ALS, maior resistência a esse grupo de herbicidas foi conferido à soja, fazendo com que essa enzima seja menos susceptível a inibição das sulfoniluréias, mantendo-se a capacidade vital e aumentando significativamente sua resistência a essa molécula (DUGGLEBY et al., 2008; YU et al., 2010; WALTER et al., 2014). A primeira mutação originou a cultivar W20, derivada de Williams (SEBASTIAN et al., 1989; SEBASTIAN, 1992), sendo essa a primeira cultivar do grupo comercialmente conhecido como STS<sup>®</sup> (sulfonilurea tolerant soybean). Posteriormente esse alelo mutante ficou conhecido como *A/s1* enquanto sua versão selvagem como *als1*. Em seguida iniciou-se outra etapa para o desenvolvimento do segundo alelo mutante independente que aumentaria ainda mais a resistência da soja as sulfoniluréias. Com isso foi desenvolvido o alelo *A/s2* (WALTER et al., 2014).

Atualmente na Argentina, diversos cultivares de soja com os alelos *A/s1* e *A/s1+A/s2* estão sendo comercializados e ocupando significativa porção do mercado. Com o uso desses cultivares, o manejo de gramíneas em geral, plantas voluntárias de milho RR e ainda *Conyza* spp. ganhou mais uma ferramenta para auxílio no controle dessas plantas daninhas que é o uso de herbicidas do grupo das sulfoniluréias como o produto Ligate<sup>®</sup>, que contém os princípios ativos clorimuron

etílico e sulfometuron methyl. A dose recomendada do produto químico é de 100 g ha<sup>-1</sup>, o que corresponde a 20 g de clorimuron etílico e 15 g de sulfometuron methyl ha<sup>-1</sup> (INFOCAMPO, 2016; DUPONT, 2016).

Com a comercialização de cultivares com essa tecnologia e a adoção de herbicidas com diferentes princípios ativos do grupo químico das sulfoniluréias, torna-se de fundamental importância estudos sobre os possíveis efeitos da aplicação desses herbicidas. Portanto esse trabalho objetivou avaliar a reação de progênies de soja contendo os alelos *A/s1* e *A/s1+A/s2* à aplicação em pré-emergência do herbicida do grupo das sulfoniluréias e comparar sua seletividade a progênies sem os alelos.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Desenvolvimento das progênies

Esse estudo foi conduzido utilizando progênies endogâmicas de duas diferentes populações. O desenvolvimento dessas progênies, através do método bulk modificado, iniciou-se na safra 2011/2012 quando se realizaram os cruzamentos envolvendo o doador dos alelos *Als1* e *Als2* (CD250RRSTS) com cultivares adaptados à região central do Brasil (BG4277 e 98Y30). No inverno de 2012, as sementes  $F_1$ 's foram semeadas e a confirmação do cruzamento foi feita através de análise molecular utilizando marcadores de acordo com WALTER et al. (2014). Na safra seguinte, 2012/2013, foram semeadas como  $F_2$ , e no inverno de 2013 como  $F_3$ . Quando avançadas para  $F_4$ , na safra 2013/2014, foi feita outra análise molecular (WALTER et al., 2014) para a classificação e seleção de plantas homocigotas quanto à presença/ausência dos alelos *Als1* e *Als2*. No inverno de 2014, foram semeadas as progênies recombinantes  $F_{4:5}$  oriundas das duas populações (Tabela 1). Na safra 2014/2015, as progênies recombinantes  $F_{4:6}$  foram semeadas e selecionadas para serem utilizadas no experimento de avaliação dos efeitos do herbicida. O desenvolvimento das progênies foi feito no centro de pesquisa da DuPont Pioneer de Planaltina, DF exceto as gerações  $F_3$  e  $F_{4:5}$  que foram conduzidas no centro de pesquisa da DuPont Pioneer de Palmas, TO (Tabela 2).

Tabela 1. Número de progênies de cada classe genotípica e de cada população avaliadas em Palmas, TO no inverno de 2014

População		Número de progênies			
Parental	Codificação	Nulas	Als1	Als1+Als2	TOTAL
BG4277/CD250RRSTS	Pop001	69	73	183	325
98Y30/CD250RRSTS	Pop002	14	19	31	64
TOTAL		83	92	214	389

Tabela 2. Fluxograma do desenvolvimento das populações/progênes contendo ano de execução, geração, ação executada e local

Ano	Geração	Ação	Local
2011/2012	Cult adaptada X Cult doadora	Cruzamento	Brasília
	↓		
2012	F <sub>1</sub>	Confirmação - Marcadores	Brasília
	↓		
2012/2013	F <sub>2</sub>	Avanço	Brasília
	↓		
2013	F <sub>3</sub>	Avanço	Palmas
	↓		
2013/2014	F <sub>4</sub>	Marcadores – Seleção	Brasília
	↓		
2014	F <sub>4:5</sub>	Multiplicação	Palmas
	↓		
2014/2015	F <sub>4:6</sub>	Seleção de progênes	Brasília
	↓		
2015/2016	F <sub>4:7</sub>	Teste com herbicida	Brasília

De cada uma das duas populações, foram obtidas três classes de progênes (classes genóticas): progênes nulas (sem os alelos *Als1* e *Als2*), progênes com alelos *Als1* e progênes com ambos os alelos (Tabela 1). Todos os alelos avaliados estavam em homozigose. Selecionou-se duas progênes F<sub>4:7</sub> de cada classe das duas populações (Tabela 3) baseado em características agronômicas, uniformidade, maturação e germinação para serem testadas na safra 2015/2016, em que se incluiu oito variedades testemunhas sem os alelos *Als1* e *Als2*, sendo essas incluídas nas análises estatísticas como a quarta classe genótica. As oito testemunhas foram BG4277, 98Y12, TMG1182RR, ST820RR, 98Y30, 98Y51, 98Y52 e TMG132RR.

Tabela 3. Número de progênes de cada classe genótica e de cada população avaliada no experimento de efeitos do herbicida em Planaltina, DF na safra 2015/2016

População	Nulas	Als1	Als1+Als2	TOTAL
Pop001	2	2	2	6
Pop002	2	2	2	6
TOTAL	4	4	4	12 + 8 Testemunhas

## 2.2. Experimento de avaliação

Foram semeadas, na safra 2015/2016, seis progênies de cada população, sendo duas progênies de cada classe, mais as oito variedades testemunhas (Tabela 3). O experimento foi conduzido no centro de pesquisa da DuPont Pioneer de Planaltina, DF que apresenta um solo classificado como latossolo e está situado na parte Nordeste do Distrito Federal a uma altitude de 1152 m.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados com arranjo em parcelas subdivididas, com dois fatores sendo as parcelas principais as doses do herbicida Ligate® e as subparcelas as quatro classes. As quatro doses do herbicida Ligate®, do grupo das sulfoniluréias e que contém os princípios ativos clorimuron etílico e sulfometuron methyl, foram dose nula ou a não aplicação do produto (Dose 0), dose recomendada do Ligate® sendo 100 g do produto comercial ha<sup>-1</sup>, que corresponde a 20 g de clorimuron etílico e 15 g de sulfometuron methyl ha<sup>-1</sup> (Dose X), duas vezes a dose recomendada ou 40 g de clorimuron etílico e 30 g de sulfometuron methyl ha<sup>-1</sup> (Dose 2X) e quatro vezes a dose recomendada que equivale a 400 g do produto comercial ha<sup>-1</sup>, contendo 80 g de clorimuron etílico e 60 g de sulfometuron methyl ha<sup>-1</sup> (Dose 4X). As subparcelas foram preenchidas com as quatro classes: nula, Als1, Als1+Als2 e testemunhas.

O experimento foi instalado com cinco repetições. Cada subparcela foi constituída por quatro linhas de cinco metros de comprimento e espaçamento entre linhas de 0,50 m. A área útil colhida foram as duas linhas centrais. A densidade populacional foi de 12 plantas m<sup>-1</sup> ou 240.000 plantas ha<sup>-1</sup>. O experimento foi plantado em 26 de novembro de 2015 e a aplicação das doses do herbicida foi feita em pré-emergência no dia seguinte ao plantio (Figura 1). Os tratos culturais foram feitos conforme recomendação da EMBRAPA SOJA (2001). A colheita foi feita através de

dessecação no estágio R7.3 com Gramoxone utilizando 2 L ha<sup>-1</sup> do produto comercial, que contém 200 g L<sup>-1</sup> do ingrediente ativo Paraquat. Posteriormente foi realizada a colheita mecanizada.



Figura 1. Imagens registradas no dia 27 de novembro de 2015 durante a aplicação do herbicida Ligate<sup>®</sup> do grupo das sulfoniluréias.

Foram avaliadas as seguintes características agrônômicas: emergência de plântulas (EP), que consiste na porcentagem visual de plântulas emergidas no estágio V2; altura de planta avaliadas no estágio vegetativo V4 (AltPI\_V4), no estágio de florescimento R2 (AltPI\_R2) e no estágio de maturação do tratamento em R8 (AltPI\_R8), essas alturas foram medidas pela distância em cm da superfície do solo até o ápice de uma planta representativa no estágio mencionado; maturação (Mat), é o número de dias do plantio até a data quando 95 % do tratamento atinge o estágio de maturação R8; avaliação da parcela (AvaPa), nota em porcentagem para a unidade

experimental com o intuito de mensurar a qualidade da parcela baseado no número de plantas e sua distribuição no estágio de maturação em R8; avaliação visual do tratamento (AVT), avaliação visual em porcentagem do tratamento no estágio R8 quanto ao seu aspecto visual baseado em características agrônômicas desejáveis; não-acamadas (NAca) que consiste na porcentagem de plantas que não inclinaram mais que 45° no estágio R8; danos causados pelo herbicida do grupo das sulfoniluréias avaliado em porcentagem sete dias após a emergência das plântulas (DanHer\_07), 14 dias após emergência (DanHer\_14), 21 dias após emergência (DanHer\_21) e 28 dias após emergência das plântulas (DanHer28) seguindo a metodologia descrita na Tabela 4 e produtividade de grãos (PG) que é o peso de grãos de uma parcela convertido para kg ha<sup>-1</sup> e corrigido para 13 % de umidade. Os estádios da soja foram classificados segundo FEHR et al. (1971).

Os dados coletados foram analisados pelo programa estatístico R (R CORE TEAM, 2016). O modelo estatístico adotado foi fixo para todas as variáveis (Tabela 5) (RAMALHO et al., 2012). As médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade.

Tabela 4. Metodologia para a avaliação dos danos causados pelo herbicida do grupo das sulfoniluréias no experimento conduzido em Planaltina, DF na safra 2015/2016

Nota de avaliação	Nível de dano	Descrição
100	Sem dano	Sem redução ou injúria
90	Dano pequeno	Pequena descoloração ou travamento
80		Alguma descoloração ou travamento
70		Injúria mais pronunciada, mas não permanente
60	Dano moderado	Injúria moderada, mas a cultura se restabelece
50		Injúria mais prolongada, com dúvidas sobre a recuperação
40		Injúria duradoura, cultura não se recupera
30	Dano severo	Injúria severa e perda de estande
20		Cultura quase destruída com poucas plantas sobreviventes
10		Apenas plantas ocasionais vivas
0	Morte	Cultura completamente destruída

Tabela 5. Análise de variância para blocos casualizados com arranjo em parcelas subdividas indicando o correto denominador do teste F para cada fonte de variação, tendo todas as variáveis como efeitos fixos

Fontes de Variação	Quadrado Médio		Teste F
	Observado	Esperado <sup>a</sup>	
Repetição	M1	$\sigma^2 + c\sigma_{\gamma}^2 + dc\sum\beta_k^2/(r-1)$	M1 / M3
Dose	M2	$\sigma^2 + c\sigma_{\gamma}^2 + rc\sum\alpha_i^2/(d-1)$	M2 / M3
Erro(dose)=Rep x Dose	M3	$\sigma^2 + c\sigma_{\gamma}^2$	
Classe	M4	$\sigma^2 + rd\sum\psi_j^2/(c-1)$	M4 / M6
Dose x Classe	M5	$\sigma^2 + r\sum(\alpha\psi)_{ij}^2/(d-1)(c-1)$	M5 / M6
Erro(classe)=Dose x Classe	M6	$\sigma^2$	

<sup>a</sup> =as letras “r”, “d” e “c” referem-se ao número de repetições, doses e classes genóticas, respectivamente.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o ciclo da soja, as condições ambientais foram favoráveis para o desenvolvimento da cultura exceto na parte final do ciclo quando os índices pluviométricos diminuíram, e conseqüentemente, acelerando a maturação, porém não reduziu a produtividade de maneira significativa.

De acordo com a análise de variância, a fonte de variação classe foi significativamente diferente para todas as características avaliadas, exceto avaliação da parcela (Tabela 6). Isso indica a importância e a necessidade da presença dos alelos que conferem resistência ao herbicida utilizado do grupo das sulfoniluréias. As médias do experimento, das classes, das doses, da interação dose x classe e as suas comparações, quando significativas, foram realizadas pelo teste de Tukey (Tabela 7).

A produtividade de grãos média no experimento foi de 3655 kg ha<sup>-1</sup>. As fontes de variação dose e classe foram significativas para essa característica (Tabela 6). A média de produtividade na dose 0 foi estatisticamente superior às doses 2X e 4X. A média das classes Als1 e Als1+Als2, 3692 e 3745 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, foram significativamente superiores à classe nula, 3554 kg ha<sup>-1</sup> (Tabela 7), demonstrando assim que a característica mais importante na cultura da soja necessita da presença dos alelos em seu germoplasma quando utilizado um herbicida com os princípios ativos clorimuron etílico e sulfometuron methyl.

Outra característica importante e relevante aos produtores é o dano causado pelo herbicida após sua aplicação. Nesse estudo o herbicida contendo os ingredientes ativos clorimuron etílico e sulfometuron methyl foi aplicado antes da emergência das plântulas de soja e teve suas avaliações dos danos realizadas sete, 14, 21 e 28 dias após a emergência das plântulas.

Dose, classe e a interação foram significativamente diferentes para as quatro avaliações realizadas quanto ao dano causado pelo herbicida (Tabela 6). Na interação entre dose e classe, as progênies sem os alelos de resistência foram afetadas significativamente com a presença do herbicida e o dano foi aumentando gradativamente conforme o aumento da dose do produto químico (Tabela 7). Outro aspecto relevante é que o dano se manteve constante dentro de cada dose e classe nas quatro datas avaliadas demonstrando a dificuldade de recuperação das progênies sem os alelos de resistência e com isso confirmando o decréscimo na produtividade desses genótipos.

Além do dano econômico causado pelo herbicida com a redução da produtividade, o dano visual pode fazer com que o produtor aumente seu custo de produção, buscando alternativas para acelerar o processo de recuperação das plantas como, por exemplo, através do uso de nutrientes foliares. O dano causado pelo herbicida pode se observar quando a mesma progênie da classe nula do cruzamento envolvendo os parentais 98Y30/CD250RRSTS é destacada nas quatro doses do herbicida evidenciando assim a dificuldade de crescimento dessa progênie com a presença do produto químico (Figura 2).

Para a característica altura de planta, avaliada nos estádios V4, R2 e R8, classe foi significativamente diferente para as três avaliações (Tabela 6). Comparando as três classes: nulas, Als1 e Als1+Als2, nas três avaliações, as progênies nulas foram as mais baixas enquanto que Als1 as mais altas (Tabela 7). Em V4 e R2, as progênies nulas foram estatisticamente inferiores a Als1 enquanto que em R8 as classes nulo, Als1 e Als1+Als2 não diferiam estatisticamente, mostrando a recuperação da classe nula no final do ciclo para essa característica. No final do ciclo as progênies se mostraram significativamente mais altas que as testemunhas e conseqüentemente

com a maior distância entre nós (Tabela 7). O efeito de dose mostrou diferença significativa apenas em R2 quando a dose 4X foi estatisticamente mais baixa do que às demais doses (Tabelas 6 e 7).

Quanto à emergência de plântulas, apenas classe foi significativamente diferente (Tabela 6). A classe nula foi estatisticamente inferior às classes Als1, Als1+Als2 e testemunhas confirmando a dificuldade de emergência da classe sem a presença dos alelos de resistência (Tabela 7).

Na avaliação visual do tratamento e para maturação houve diferença significativa entre as classes (Tabela 6). As diferenças para essas duas características se devem às testemunhas. Em avaliação visual, as testemunhas tiveram uma aparência fenotípica superior às nulas, Als1 e Als1+Als2, enquanto que para maturação, as testemunhas exigiram maior tempo para completarem o ciclo (Tabela 7).

O experimento todo acamou de maneira significativa durante a parte final do ciclo, após as plantas atingirem a maturação fisiológica, porém não se afetou a produtividade e a qualidade das sementes. Para essa característica, classe e a interação dose e classe foram estatisticamente diferentes (Tabela 6). Apesar das diferenças não serem significativas, foi observado uma tendência de que em todas as doses, exceto na dose 0, a classe nula acamou mais do que as classes Als1 e Als1+Als2 indicando o menor vigor das plantas sem a presença dos alelos de resistência (Tabela 7).

Tabela 6. Resumo da análise de variância das características avaliadas no experimento conduzido em Planaltina, DF na safra 2015/2016

Fonte de variação	GL <sup>a</sup>	EP <sup>b</sup>	AltPI_V4 <sup>b</sup>	AltPI_R2 <sup>b</sup>	AltPI_R8 <sup>b</sup>	Ava Pa <sup>b</sup>	NACA <sup>b</sup>	AVT <sup>b</sup>	DanHer_07 <sup>b</sup>	DanHer_14 <sup>b</sup>	DanHer_21 <sup>b</sup>	DanHer_28 <sup>b</sup>	Mat <sup>b</sup>	PG <sup>b</sup>
Rep	4	18 <sup>ns</sup>	17 <sup>ns</sup>	78 <sup>ns</sup>	348*	224**	222 <sup>ns</sup>	57 <sup>ns</sup>	345 <sup>ns</sup>	78 <sup>ns</sup>	235 <sup>ns</sup>	230 <sup>ns</sup>	7 <sup>ns</sup>	23844 <sup>ns</sup>
Dose	3	35 <sup>ns</sup>	44 <sup>ns</sup>	91*	83 <sup>ns</sup>	1 <sup>ns</sup>	424 <sup>ns</sup>	26 <sup>ns</sup>	9328**	7246**	7491**	5485**	0,4 <sup>ns</sup>	185284*
Erro(Dos)	12	48	30	25	69	40	194	117	169	105	123	246	5	40552
Classe	3	128*	215**	280**	2561**	13 <sup>ns</sup>	2712**	10706**	12189**	12127**	13756**	11572**	20**	491647**
Cl.*Dose	9	41 <sup>ns</sup>	25 <sup>ns</sup>	38 <sup>ns</sup>	15 <sup>ns</sup>	13 <sup>ns</sup>	795*	95 <sup>ns</sup>	1745**	1952**	1998**	1562**	2 <sup>ns</sup>	41186 <sup>ns</sup>
Erro(Cla)	208	34	21	21	69	22	365	125	98	53	75	65	5	70973
CV (%)		6,1	13,4	8,3	7,9	5,2	51,7	20,9	11,7	8,2	10,0	9,2	1,9	7,3

<sup>ns</sup> não significativo; \* e \*\* significante ao nível de 0,05 e 0,01 de probabilidade, respectivamente.

<sup>a</sup> GL=graus de liberdade.

<sup>b</sup> EP=emergência de plântulas, AltPI\_V4=altura de planta no estágio V4, AltPI\_R2=altura de planta no estágio R2, AltPI\_R8=altura de planta no estágio R8, AvaPa=avaliação de parcela, NACA=não-acamadas, AVT=avaliação visual do tratamento, DanHer\_07=dano causado pelo herbicida sete dias após emergência das plântulas, DanHer\_14=dano causado pelo herbicida 14 dias após emergência das plântulas, DanHer\_21=dano causado pelo herbicida 21 dias após emergência das plântulas, DanHer\_28=dano causado pelo herbicida 28 dias após emergência das plântulas, Mat=maturação e PG=produtividade de grãos.

Tabela 7. Média das características avaliadas por classe genotípica, dose e interação dose x classe no experimento conduzido em Planaltina, DF na safra 2015/2016. Para as características que apresentaram diferença significativa, aplicou-se o teste Tukey ( $p < 0,05$ )

Descrição	Variável	EP <sup>a</sup>	AltPI_V4 <sup>a</sup>	AltPI_R2 <sup>a</sup>	AltPI_R8 <sup>a</sup>	AvaPa <sup>a</sup>	Naca <sup>a</sup>	AVT <sup>a</sup>	DanHer_r_07 <sup>a</sup>	DanHer_r_14 <sup>a</sup>	DanHer_r_21 <sup>a</sup>	DanHer_r_28 <sup>a</sup>	Mat <sup>a</sup>	PG <sup>a</sup>
		%	cm	cm	cm	%	%	%	%	%	%	%	dias	kg ha <sup>-1</sup>
Média	Planaltina	95	34	56	106	91	37	54	85	88	87	88	120	3655
Média das classes	Nulo	93 <sup>a</sup>	32 <sup>a</sup>	54 <sup>ab</sup>	106 <sup>b</sup>	90	29 <sup>a</sup>	52 <sup>a</sup>	72 <sup>b</sup>	74 <sup>a</sup>	71 <sup>a</sup>	74 <sup>a</sup>	119 <sup>a</sup>	3554 <sup>a</sup>
	Als1	96 <sup>b</sup>	36 <sup>c</sup>	58 <sup>c</sup>	109 <sup>b</sup>	91	35 <sup>ab</sup>	49 <sup>a</sup>	95 <sup>c</sup>	99 <sup>b</sup>	98 <sup>b</sup>	99 <sup>b</sup>	119 <sup>a</sup>	3692 <sup>bc</sup>
	Als1+2	96 <sup>b</sup>	33 <sup>ab</sup>	56 <sup>bc</sup>	108 <sup>b</sup>	90	42 <sup>bc</sup>	47 <sup>a</sup>	96 <sup>c</sup>	98 <sup>b</sup>	97 <sup>b</sup>	98 <sup>b</sup>	119 <sup>a</sup>	3745 <sup>c</sup>
	Test.	96 <sup>b</sup>	35 <sup>bc</sup>	53 <sup>a</sup>	92 <sup>a</sup>	91	45 <sup>c</sup>	82 <sup>b</sup>	67 <sup>a</sup>	73 <sup>a</sup>	71 <sup>a</sup>	74 <sup>a</sup>	121 <sup>b</sup>	3592 <sup>ab</sup>
Média das doses do herbicida	0	96	35	57 <sup>b</sup>	106	91	39	53	99 <sup>c</sup>	100 <sup>d</sup>	100 <sup>c</sup>	100 <sup>c</sup>	120	3723 <sup>b</sup>
	X	96	35	57 <sup>b</sup>	107	91	36	53	92 <sup>c</sup>	93 <sup>c</sup>	92 <sup>b</sup>	91 <sup>b</sup>	119	3683 <sup>ab</sup>
	2X	95	35	55 <sup>ab</sup>	105	90	40	54	79 <sup>b</sup>	86 <sup>b</sup>	81 <sup>a</sup>	84 <sup>ab</sup>	120	3612 <sup>a</sup>
	4X	94	33	54 <sup>a</sup>	104	91	34	54	71 <sup>a</sup>	74 <sup>a</sup>	75 <sup>a</sup>	78 <sup>a</sup>	120	3608 <sup>a</sup>
Média da interação dose x classe	0xNulo	93	31	56	107	90	38 <sup>abc</sup>	50	99 <sup>e</sup>	100 <sup>d</sup>	100 <sup>d</sup>	100 <sup>d</sup>	119	3655
	0xAls1	97	38	58	110	92	35 <sup>abc</sup>	48	98 <sup>e</sup>	100 <sup>d</sup>	100 <sup>d</sup>	100 <sup>d</sup>	119	3745
	0xAls1+2	95	34	55	109	90	40 <sup>abc</sup>	48	100 <sup>e</sup>	100 <sup>d</sup>	99 <sup>d</sup>	100 <sup>d</sup>	120	3746
	0xTest.	97	37	57	92	92	45 <sup>abc</sup>	81	98 <sup>e</sup>	100 <sup>d</sup>	100 <sup>d</sup>	100 <sup>d</sup>	121	3753
	XxNulo	96	33	56	107	91	30 <sup>ab</sup>	53	85 <sup>cd</sup>	84 <sup>c</sup>	81 <sup>c</sup>	82 <sup>c</sup>	119	3636
	XxAls1	97	37	59	109	91	37 <sup>abc</sup>	48	98 <sup>e</sup>	99 <sup>d</sup>	100 <sup>d</sup>	98 <sup>d</sup>	119	3689
	XxAls1+2	95	33	56	108	89	43 <sup>abc</sup>	44	96 <sup>de</sup>	100 <sup>d</sup>	97 <sup>d</sup>	97 <sup>d</sup>	119	3795
	XxTest.	96	36	54	96	90	28 <sup>ab</sup>	85	79 <sup>c</sup>	84 <sup>c</sup>	84 <sup>c</sup>	80 <sup>c</sup>	122	3493
	2XxNulo	93	34	53	106	90	27 <sup>ab</sup>	52	61 <sup>b</sup>	71 <sup>b</sup>	63 <sup>b</sup>	67 <sup>b</sup>	119	3487
	2XxAls1	94	35	57	109	90	43 <sup>abc</sup>	46	92 <sup>de</sup>	100 <sup>d</sup>	96 <sup>d</sup>	98 <sup>d</sup>	119	3659
	2XxAls1+2	97	35	56	108	91	40 <sup>abc</sup>	49	94 <sup>de</sup>	97 <sup>d</sup>	95 <sup>d</sup>	98 <sup>d</sup>	119	3705
	2XxTest.	98	34	53	91	91	57 <sup>c</sup>	83	59 <sup>b</sup>	68 <sup>b</sup>	61 <sup>b</sup>	66 <sup>b</sup>	121	3591
	4XxNulo	91	31	51	105	91	24 <sup>a</sup>	51	49 <sup>ab</sup>	47 <sup>a</sup>	47 <sup>a</sup>	53 <sup>a</sup>	120	3469
	4XxAls1	94	35	58	107	90	25 <sup>a</sup>	53	91 <sup>cde</sup>	98 <sup>d</sup>	98 <sup>d</sup>	99 <sup>d</sup>	119	3677
	4XxAls1+2	97	32	57	109	90	44 <sup>abc</sup>	46	92 <sup>de</sup>	96 <sup>d</sup>	97 <sup>d</sup>	97 <sup>d</sup>	119	3729
	4XxTest.	94	34	50	89	91	50 <sup>bc</sup>	79	38 <sup>a</sup>	44 <sup>a</sup>	46 <sup>a</sup>	53 <sup>a</sup>	120	3538

Médias com letra diferente em uma coluna dentro de uma fonte de variação são estatisticamente diferentes de acordo com o teste Tukey ( $P < 0,05$ ).

<sup>a</sup> EP=emergência de plântulas, AltPI\_V4=altura de planta no estádio V4, AltPI\_R2=altura de planta no estádio R2, AltPI\_R8=altura de planta no estádio R8, AvaPa=avaliação de parcela, Naca=não-acamadas, AVT=avaliação visual do tratamento, DanHer\_07=dano causado pelo herbicida sete dias após emergência da cultura, DanHer\_14=dano causado pelo herbicida 14 dias após emergência da cultura, DanHer\_21=dano causado pelo herbicida 21 dias após emergência da cultura, DanHer\_28=dano causado pelo herbicida 28 dias após emergência da cultura, Mat=maturação e PG=produtividade de grãos.



Figura 2. Imagens da mesma progênie nula (quatro linhas centrais) do cruzamento 98Y30/CD250RRSTS nas quatro doses avaliadas registradas em 15 de janeiro de 2016. a=dose 0, b=dose X, c=dose 2X e d= dose 4X.

A presença do alelo *Als1* ou da combinação de alelos *Als1* e *Als2* reduziram drasticamente os danos na soja causado por aplicações em pós-emergência de herbicidas inibidores da enzima acetolactato sintase (WALTER et al., 2014). Esses pesquisadores desenvolveram curvas de respostas baseado em análises visuais para comparar genótipos com os alelos de resistência contra os alelos selvagens ou sem resistência. *Als1*, quando comparado com a versão selvagem, significativamente aumentou a tolerância da soja para clorimuron, nicosulfuron, rimsulfuron,

sulfometuron, thifensulfuron, tribenuron e flucarbazone. Enquanto que a combinação dos alelos *A/s1* e *A/s2*, quando comparada com o tipo selvagem, melhorou a tolerância da soja para imazapyr, pyriithiobac-sodium, clorimuron, nicosulfuron, rimsulfuron, sulfometuron, thifensulfuron, tribenuron e flucarbazone. Quando comparada com a soja contendo apenas *A/s1*, a combinação *A/s1* + *A/s2* melhorou a tolerância da soja ao imazapyr, pyriithiobac-sodium, nicosulfuron, rimsulfuron, sulfometuron e flucarbazone. Portanto esses autores concluíram que a inclusão do alelo *A/s1* ou da combinação *A/s1* + *A/s2* melhorou a tolerância da soja a, pelo menos, quatro das cinco famílias químicas ativas em ALS, concordando com os resultados encontrados nesse estudo.

Em estudo, avaliaram-se dois cultivares de soja quanto a resistência à três princípios ativos que tem como sítio de atuação a inibição da acetolactato sintase: imazapyr, metsulfuron e nicosulfuron. Os cultivares testados foram Coodetec 201, resistente a alguns princípios ativos do grupo das sulfoniluréias, e Ocepar 14, sem nenhum alelo de resistência a sulfoniluréia. Os herbicidas foram aplicados 30 dias após a emergência das plântulas. Foram concluídos que ambos os cultivares são igualmente sensíveis a imazapyr, porém Coodetec 201 foi 10,25 vezes mais resistente a metsulfuron e 3,25 vezes mais resistente a nicosulfuron do que Ocepar 14 (MEROTTO JR et al., 2000).

Outros trabalhos também avaliaram a resistência de genótipos de soja a diferentes princípios ativos do grupo das sulfoniluréias. PROCÓPIO et al. (2006) observaram que a aplicação em pré-emergência de glifosato + clorimuron etílico (1620 g i.a. ha<sup>-1</sup> + 20 g i.a. ha<sup>-1</sup>) não reduziu a produtividade da soja. MACIEL et al. (2009) chegaram a mesma conclusão, porém com aplicação em pós-emergência de glifosato + clorimuron etílico (960 g i.a. ha<sup>-1</sup> + 10 g i.a. ha<sup>-1</sup>). MARCHI et al. (2013) observaram

que a aplicação em pós-emergência de glifosato + clorimuron etílico (960 g i.a. ha<sup>-1</sup> + 10 g i.a. ha<sup>-1</sup>) e glifosato + cloransulam-methyl (960 g i.a. ha<sup>-1</sup> + 40 g i.a. ha<sup>-1</sup>) não reduziram a produtividade de soja RR. GIOVANELLI et al. (2014) comprovaram a resistência de CD250STSRR para nicosulfuron em pós-emergência para doses até 200 g i.a. ha<sup>-1</sup>.

Estudos em outras culturas, como em tabaco, demonstrou a eficácia de alelos mutantes dentro dos genes ALS fazendo com que essa enzima seja menos susceptível para a inibição das sulfoniluréias. A resistência a herbicidas do grupo das sulfoniluréias em tabaco resulta de uma única substituição de um aminoácido no peptídeo da ALS (LEE et al., 1988). Ademais, em *Nicotiana tabacum* tetraploide os pesquisadores confirmaram dois genes mutantes da ALS. A mudança de um único aminoácido em um destes genes de ALS resultou na produção de uma enzima que era resistente a sulfoniluréia. Enquanto que a mudança de dois aminoácidos no outro gene de ALS produziu uma proteína que foi ainda mais resistente ao herbicida. Introdução destes alelos mutantes em células de tabaco sensíveis tornaram essas plantas altamente resistentes a sulfoniluréia.

O grupo de alelos mutantes para resistência a herbicidas do grupo das sulfoniluréias é mais uma ferramenta disponível para os agricultores para auxiliar no manejo das plantas daninhas. Culturas com múltiplos modos de ação podem auxiliar na manutenção do controle das plantas daninhas (GREEN, 2007). Ademais, o mecanismo de resistência aos herbicidas inibidores da ALS mostrou-se um mutante, altamente resistente a todas as cinco classes de herbicidas das sulfoniluréias. Com isso, os genótipos que apresentam o gene transgênico RR para resistência ao glifosato, possuem também os genes mutantes de resistência a sulfoniluréia e mantem a tolerância natural a herbicidas seletivos, proporcionando para os produtores

mais opções ao manejo de plantas daninhas e assim ajudam a retardar a evolução de plantas daninhas resistentes a herbicidas devido à disponibilidade para utilização de vários modos de ação.

Apesar da comprovação através desse trabalho da eficácia dos alelos *A/s1* e *A/s1+A/s2*, é de fundamental importância que outros trabalhos sejam realizados para comprovar a eficiência dos alelos mutantes para tolerância as sulfoniluréias, possibilitando validar sua introdução e utilização em cultivares de soja comercial.

#### 4. CONCLUSÃO

A aplicação em pré-emergência do herbicida do grupo das sulfoniluréias contendo os princípios ativos clorimuron etílico e sulfometuron methyl não causa efeito negativo em genótipos contendo os alelos mutantes de resistência ao grupo das sulfoniluréias, *Als1* e *Als1+Als2*.

As progênies das populações Pop001 (BG4277/CD250RRSTS) e Pop002 (98Y30/CD250RRSTS) que contém os alelos mutantes de resistência ao grupo das sulfoniluréias, *Als1* e *Als1+Als2*, apresentam desempenho significativamente superior as progênies sem os alelos mutantes sob aplicação em pré-emergência do herbicida do grupo das sulfoniluréias contendo os princípios ativos clorimuron etílico e sulfometuron methyl.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CÉLERES. **Informativo Céleres** - segundo levantamento de adoção da biotecnologia agrícola no Brasil, safra 2016/2017, março de 2017, 2017. Disponível em: <http://www.celeres.com.br/2o-levantamento-de-adocao-da-biotecnologia-agricola-no-brasil-safra-201617/>. Acesso em 19 mar 2017.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira**: grãos: safra 2016/2017, sexto levantamento, março de 2017, Brasília, 2017, 176 p.

COSTA, N.P.; MESQUITA, C.M.; MAURINA, A.C.; FRANÇA NETO, J.B.; PEREIRA, J.E.; BORDINGNON, J.R.; KRZYZANOWSKI, F.C.; HENNING, A.A. Efeito da colheita mecânica da soja nas características físicas, fisiológicas e químicas das sementes em três estados do Brasil. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 23, p. 140-145, 2001.

DUGGLEBY, R.G.; MCCOURT, J.A.; GUDDAT, L.W. Structure and mechanism of inhibition of plant acetohydroxyacid synthase. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 46, p. 309–324, 2008.

DUPONT. **Ligate STS®**. Disponível em: [http://www.dupont.com.ar/content/dam/assets/products-and-services/crop-protection/assets/Etiqueta\\_Ligate\\_v2.pdf](http://www.dupont.com.ar/content/dam/assets/products-and-services/crop-protection/assets/Etiqueta_Ligate_v2.pdf). Acesso em 6 ago 2016.

EBERLEIN, C.V.; GUTTIERI, M.J.; THILL, D.C.; BAERG, R.J. Altered acetolactate synthase activity in ALS - inhibitor resistant prickly lettuce (*Lactuca serriola*). **Weed Science**, v. 45, n. 2, p. 212-217, 1997.

EMBRAPA SOJA. **Tecnologias de produção de soja – Região Central do Brasil – 2001/2002**. Londrina: Documentos 167, 2001, 267 p.

FEHR, W.R.; CAVINESS, C.E.; BURMOOD, D.T.; PENNINGTON, J.S. Stage of development descriptions for soybeans, *Glycine max* (L.) Merrill. **Crop Science**, v. 11, p. 929-931, 1971.

GIOVANELLI, B.F.; ALBRECHET, L.P.; ALBRECHT, A.J.P.; MIGLIAVACCA, R.A.; SILVA, A.F.M.; WOBETO, K.S.; PELLICCI, V.A.; VICTORIA FILHO, R. Efeito da aplicação de doses de nicosulfuron sobre soja RR/STS. In: Congresso Brasileiro da Ciência das Plantas Daninhas, 29.; 2014, Gramado, RS. **Anais...** Gramado, RS, 2014.

GREEN, J.M. Review of glyphosate and Als-inhibiting herbicide crop resistance and resistant weed management. **Weed Technology**, v. 21, p. 547-558, 2007.

GREEN, J.M.; HAZEL, C.B.; FORNEY, D.H.; PUGH, L.M. New multiple-herbicide crop resistance and formulation technology to augment the utility of glyphosate. **Pest Management Science**, v. 64, p. 332-339, 2008.

INFOCAMPO. **Nuevas estratégias de DuPont para acorrallar al Rye Grass**. Disponível em: <http://infocampo.com.ar/nota/campo/70486>. Acesso em 6 ago 2016.

ITO, M.F.; TANAKA, M.A.F. **Soja: principais doenças causadas por fungos, bactérias e nematoides**. Campinas: Fundação Cargill, 1993. 234p.

LAMEGO, F.; VIDAL, R.A. Resistance to glyphosate in *Conyza bonariensis* and *Conyza canadensis* biotypes in Rio Grande do Sul, Brazil. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 26, p. 467-471, 2008.

LEE, K.Y.; TOWNSEND, J.; TEPPERMAN, J.; BLACK, M.; CHUI, C. F.; MAZUR, B.; DUNSMUIR, P.; BEDBROOK, J. The molecular basis of sulfonylurea herbicide resistance in tobacco. **The Embo Journal**, v. 7(5), p.1241–1248, 1988.

MACIEL, C.D.G.; AMSTALDEN, S.L.; RAIMONDI, M.A.; LIMA, G.R.G.; OLIVEIRA NETO, A.M.; ARTUZI, J.P. Seletividade de cultivares de soja RR submetidos a misturas em tanque de glyphosate + chlorimuron-ethyl associadas a óleo mineral e inseticidas. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 755-768, 2009.

MARCHI, S.R.; BOGORNÍ, D.; BIAZZI, L.; BELLÉ, J.R. Associações entre glifosato e herbicidas pós-emergentes para o controle de trapoeraba em soja RR®. **Revista Brasileira de Herbicidas**, Londrina, v. 12, n. 1, p. 23-30, 2013.

MEROTTO JR, A.; VIDAL, R.A.; FLECK, N.G. Tolerância da cultivar de soja coodetec 201 aos herbicidas inibidores de als. **Planta Daninha**, v. 18, n. 1, p. 93-102, 2000.

MOREIRA, M.; NICOLAI, M.; CARVALHO, S.J.P.; CHRISTOFFOLETI, P.J. Resistência de *Conyza canadensis* e *C. bonariensis* ao herbicida glyphosate. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 25, p. 323-326, 2007.

NAKAMURA, H. 1980. Desirable qualities of soybeans: Japanese view point. In: **World Soybean Research Conference** 11. Frederick, T.C. (Ed.), pp.1-7. March 26-27, 1979, Granada, Spain.

POWLES, S.B. Evolution in action: glyphosate-resistant weeds threaten world crops. **Outlooks on Pest Management** 19(6): 256-259, 2008.

PROCÓPIO, S.O.; MENEZES, C.C.E.; BETTA, L.; BETTA, M. Utilização de chlorimuron-ethyl e imazethapyr na cultura da soja Round Ready. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 25, n.2, p. 365-373, 2006.

R CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. 2016. <https://www.R-project.org/>

RAMALHO, M.A.P.; FERREIRA, D.F.; OLIVEIRA, A.C. DE. **Experimentação Em Genética E Melhoramento De Plantas**. 3.Ed. Lavras: UFLA, 2012, 305p.

SANTOS, G.; OLIVEIRA JR, R.S.; CONSTANTIN, J.; MACHADO, M.F.P. Buva com resistência múltipla a herbicidas é identificada como *Conyza sumatrensis* no Paraná. **Informe Técnico PGA – UEM**, Maringá, v. 1, p. 1-4, 2012.

SEBASTIAN, S.A.; FADER, G.M.; ULRICH, J.F.; FORNEY, D.R.; CHALEFF, R.S. Semidominant soybean mutation for resistance to sulfonylurea herbicides. **Crop Science**, v. 29, p. 1403–1408, 1989.

SEBASTIAN, S.A. **Soybean plants with dominant selectable trait for herbicide resistance**. US Patent 5084082, 28 jan. 1992. 26p.

SHERMAN, T.D.; VAUGHN, K.C.; DUKE, S.O. Mechanisms of action and resistance to herbicides. In: DUKE, S. O. **Herbicide resistant crops**. Boca Raton, FL: CRC Press, 1996. p. 13-36.

VARGAS, L.; BIANCHI, M.A.; RIZZARDI, M.A.; AGOSTINETTO, D.; DAL MAGRO, T. Buva (*Conyza bonariensis*) resistente ao glyphosate na região sul do Brasil. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 25, p. 573-578, 2007.

VIDAL, R.A. **Herbicidas: Mecanismo de ação e resistência de plantas**. Porto Alegre: Ribas Vidal, 1997. 165p.

USDA. **United States Department of Agriculture** – Foreign Agricultural Service. Disponível em: <https://www.fas.usda.gov/data/world-agricultural-production>. Acesso em 5 jun 2017.

WALTER, K.L.; STRACHAN, S.D.; FERRY, N.M.; ALBERT, H.H.; CASTLE, L.A.; SEBASTIAN, S.A. Molecular and phenotypic characterization of *Als1* and *Als2* mutations conferring tolerance to acetolactate synthase herbicides in soybean. **Pest Management Science**, v. 70, p. 1831-1839, 2014.

YU, Q.; HAN, H.; VILA-AIUB, M.M.; POWLES, S.B. AHAS herbicide resistance endowing mutations: effect on AHAS functionality and plant growth. **Journal of Experimental Botany**, v. 61, p. 3925–3934. 2010.

ZAWOZNIK, M.S.; TOMARO, M.L. Effect of chlorimuron-ethyl on *Bradyrhizobium japonicum* and its symbiosis with soybean. **Pest Management Science**, v. 61, p. 1003-1008, 2005.