



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DE LONDRINA

---

EDUARDO STEFANI PAGLIOSA

**GANHO GENÉTICO EM SOJA NA REGIÃO MERIDIONAL DO  
BRASIL**

---

Londrina  
2016

EDUARDO STEFANI PAGLIOSA

**GANHO GENÉTICO EM SOJA NA REGIÃO MERIDIONAL DO  
BRASIL**

Tese de doutorado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Agronomia.

Orientadora: Profa. Dra. Valeria Carpentieri  
Pipolo

Londrina  
2016

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

Pagliosa, Eduardo Stefani.

Ganho genético em soja na Região Meridional do Brasil / Eduardo Stefani Pagliosa. - Londrina, 2016.  
121 f. : il.

Orientador: Valéria Carpentieri Pípolo.

Coorientador: Antônio Eduardo Pípolo.

Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2016.

Inclui bibliografia.

1. Glycine max - Teses. 2. Progresso genético - Teses. 3. Transgênico - Teses. 4. Médias ajustadas - Teses. I. Pípolo, Valéria Carpentieri. II. Pípolo, Antônio Eduardo. III. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

EDUARDO STEFANI PAGLIOSA

## GANHO GENÉTICO EM SOJA NA REGIÃO MERIDIONAL DO BRASIL

Tese de doutorado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Agronomia

### BANCA EXAMINADORA

---

Orientadora: Dra. Valéria Carpentieri Pípolo  
Universidade Estadual de Londrina - UEL

---

Dr. Antônio Eduardo Pípolo  
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária -  
EMBRAPA

---

Dr. Nelson da Silva Fonseca Junior  
Instituto Agrônômico do Paraná - IAPAR

---

Dr. José Ubirajara Vieira Moreira  
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária -  
EMBRAPA

---

Dr. Deoclécio Domingos Garbuglio  
Instituto Agrônômico do Paraná - IAPAR

---

Dr. Cássio Egídio Cavenagui Prete  
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Londrina, 19 de Fevereiro de 2016.

Dedico a realização desta tese à minha família, de modo muito especial a meus pais Ester e Nery, ao meu irmão Thiago, assim como a minha amada esposa Josaine e à meu filho Antônio, que através do apoio constante, como aconteceu durante toda minha vida, proporcionaram a realização de mais essa etapa.

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus familiares, em especial a minha mãe Ester Elisabete Stefani Pagliosa, ao meu pai Nery Antônio Pagliosa e à meu irmão Thiago Antônio Pagliosa que sempre me ensinaram o caminho correto a ser trilhado bem como acreditaram no meu sucesso.

À minha amada esposa Josaine Paula Dariva Pagliosa por ter me apoiado nos momentos mais difíceis durante essa caminhada. Ao meu amado filho Antônio Dariva Pagliosa por proporcionar uma das maiores alegrias que já tive na vida.

À Universidade Estadual de Londrina por disponibilizar excelentes professores, ensino gratuito e de qualidade. Aos professores do Programa de Pós-graduação da Universidade Estadual de Londrina, pelos ensinamentos transmitidos e pela amizade construída durante todos esses anos de convívio, e aos funcionários, pelo auxílio e contribuição para execução desta etapa.

À minha orientadora Dr. Valéria Carpentieri Pípolo, pela experiência e conhecimentos transmitidos, mas principalmente pela amizade e apoio nos momentos mais difíceis dessa etapa.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, pela colaboração e parceria que contribuíram para a execução deste trabalho. Em especial, ao pesquisador Dr. Antônio Eduardo Pípolo, pela coorientação, mas principalmente pelos ensinamentos e amizade.

Ao Instituto Agrônomo do Paraná - IAPAR, através do pesquisador Dr. Nelson da Silva Fonseca Junior, o qual possui contribuição significativa para a execução deste trabalho.

Ao professor e pesquisador Dr. Giuliano Degrassi.

Aos colegas e amigos pela amizade e parcerias construídas neste período, em especial, à Karla Bianca de Almeida Lopes, Thiago Henrique Oro, Rodrigo Thibes Hoshino, Jenniffer Schinitzer, Rafael Maeoka, Tamy Rodrigues Baran, Rayne Boena, Fabiana Lopes, Vitor Favoretto e Osmar Chaves, e a tantos outros que não foram citados, mas que possuem sua parcela de importância.

Principalmente, à todo o povo brasileiro, que através de seus impostos viabilizaram minha formação acadêmica. Enfim, agradeço a todos aqueles que de alguma forma contribuíram na realização desta conquista.

"...Talento fibra e coragem, não se compra nem se empresta..."

Trecho da música "Apaisanado" de Cezar Oliveira e Rogério Mello, composta por Anomar Danúbio Vieira.

PAGLIOSA, Eduardo Stefani. **Ganho genético em soja na região meridional do Brasil**. 2016. 121f. Tese de doutorado (Programa de Pós-Graduação em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2016.

## RESUMO

No melhoramento de soja a determinação do ganho genético utilizando os resultados de desempenho dos genótipos nos ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU). através dos anos, é uma maneira eficaz e econômica para avaliar a eficiência e fornecer subsídios valiosos para o planejamento dos programas de melhoramento. Desta forma, os objetivos deste trabalho foram determinar e comparar o ganho genético de genótipos de soja de diferentes ciclos (precoce, semiprecoce e médio); de diferentes tipos (convencional e transgênicas) e; em ambientes de diferentes altitudes (acima e abaixo de 700 metros), desenvolvidos pelo programa de melhoramento de soja da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), entre os anos de 1994 e 2014, na região meridional do Brasil. A avaliação do ganho genético foi dividida em dois períodos: o primeiro período refere-se à 134 genótipos convencionais de soja, provenientes do programa de melhoramento de soja da Embrapa Soja, avaliados nos ensaios de VCU entre as safras de 1994/1995 a 2000/2001 em 24 locais totalizando 128 ambientes (locais de avaliação em diferentes anos). O segundo período, refere-se à 622 genótipos convencionais e transgênicos de soja, também provenientes do programa de melhoramento de soja da Embrapa Soja, avaliados nos ensaios de VCU entre as safras de 2001/2002 a 2013/2014 em 43 locais totalizando 683 ambientes (locais de avaliação em diferentes anos). Os genótipos foram agrupados em três grupos de maturação: grupo precoce (até 115 dias para a maturação), grupo semiprecoce (de 116 a 125 dias para a maturação) e grupo de ciclo médio (acima de 125 dias para a maturação), com o intuito de padronizar os ciclos, baseados no ciclo obtido em Londrina-PR. As parcelas experimentais foram constituídas por quatro fileiras de 5 m de comprimento, espaçadas por 0,45 m, usando-se como área útil duas fileiras centrais, com eliminação de 0,50 m em cada extremidade das mesmas, a título de bordadura. O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados, tendo como tratamentos: anos, locais e genótipos. As estimativas de ganho genético foram obtidas por análise de regressão linear a partir de médias ajustadas do rendimento anual médio de grãos, em  $\text{kg ha}^{-1}$  (RG), do acamamento (AC), da estatura média (EP) de planta (em cm), dos dias da emergência ao florescimento e dos dias da emergência à maturação dos genótipos de soja (linhagens e testemunhas) utilizados nos ensaios de VCU. As médias ajustadas foram obtidas através da metodologia de modelos mistos, separando-se os efeitos fixos dos aleatórios. Para o período compreendido entre as safras 1994/1995 a 2000/2001, não foi detectado ganho genético para os caracteres rendimento de grãos, dias da emergência ao florescimento e dias da emergência à maturação. Foi detectado ganho genético positivo de 2,70% para as notas de acamamento de genótipos de ciclo semiprecoce. Obteve-se ganho genético negativo de -2,44% para estatura de planta, de genótipos de ciclo precoce, acarretando em uma redução efetiva de 2,08 cm por ano. Não foi detectado ganho genético para os caracteres rendimento de grãos, acamamento, estatura de planta, dias da emergência ao florescimento e dias da emergência à maturação, no período entre as safras de 2001/02 e 2013/14, para genótipos de soja

convencional, independente da altitude e do grupo de maturação dos genótipos. Houve ganho genético para todos os caracteres avaliados para genótipos de soja transgênica variando em função da altitude dos ambientes de avaliação e dos grupos de maturação. O ganhos genéticos para rendimento de grãos, foram de 59,38, 44,50 e 64,34 Kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente para os genótipos de ciclo precoce, semiprecoce e médio, em ambientes acima de 700 metros de altitude. Em ambientes abaixo de 700 metros de altitude, os ganhos genéticos foram de 45,99, 58,37 e 84,32 Kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente. Cultivares transgênicas apresentavam rendimento médio abaixo dos genótipos convencionais no início do período de avaliação (safra 2002/03), porém, em ambientes acima e abaixo de 700 metros de altura os genótipos convencionais e transgênicos apresentaram RG médio equivalente por volta da safra 2009/10 e 2010/11, respectivamente, após estas safras, os RG dos genótipos transgênicos se tornaram superiores. Mesmo não havendo ganho genético significativo para genótipos convencionais, foi possível identificar linhagens promissoras, entre as safras de 1994/1995 e 2013/2014, do programa de melhoramento de soja da Embrapa, que foram lançadas como cultivares de alto potencial produtivo e com caracteres agronômicos desejáveis.

**Palavras-chave:** *Glycine max*. Progresso genético. Transgênico. Médias ajustadas. Modelos mistos.

PAGLIOSA, Eduardo Stefani. **Genetic gain in soybeans in southern Brazil**. 2016. 121p. Thesis (PhD in Agronomy) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2016.

## ABSTRACT

In soybean breeding determining the genetic gain using the performance results of the genotypes in the trials of Cultivation and Use Value (VCU). over the years, it is an effective and economical way to evaluate the effectiveness and provide valuable information for the planning of breeding programs. Thus, the objectives of this study were to determine and compare the genetic gain of soybean genotypes of different cycles (early, semi-early and medium maturity); of different types (conventional and transgenic) and; in environments of different altitudes (above and below 700 meters), developed by the Agricultural Research of the Brazilian soybean breeding program (Embrapa), between 1994 and 2014 in the southern region of Brazil. The evaluation of genetic gain was divided into two periods: the first period refers to 134 conventional soybean genotypes, from the Embrapa Soja soybean breeding program, assessed in VCU trials between crops 1994/1995 to 2000 / 2001 in 24 sites totaling 128 rooms (evaluation of locations in different years). The second sentence refers to the 622 genotypes conventional and transgenic soybean, also from the Embrapa Soja soybean breeding program, assessed in VCU trials between crops 2001/2002 to 2013/2014 in 43 sites totaling 683 environments (evaluation of locations in different years). The genotypes were grouped into three maturity groups: early treatment group (up to 115 days for maturation), semi-early group (116-125 days for ripening) and medium cycle group (above 125 days for maturation), with order to standardize the cycles, based on the obtained cycle in Londrina. The experimental plots were four rows of 5 m long, spaced by 0.45 m, using as floor area two central rows, with elimination of 0.50 m at each end of the same, as a border. The experimental design was randomized blocks, with the treatments: years, local and genotypes. The genetic trends were obtained by linear regression analysis from adjusted means of the average annual grain yield in kg ha<sup>-1</sup> (RG), the bedding (AC), of medium height (EP) plant (in cm ) days from emergence to flowering and days from emergence to maturity of soybean genotypes (strains and witnesses) used in the VCU tests. The adjusted means were obtained by mixed model methodology, separating the fixed effects of random. For the period between the seasons 1994/1995 to 2000/2001, was not detected genetic gain for the traits grain yield, days from emergence to flowering and days from emergence to maturity. It was detected positive genetic gain of 2.70% for the notes of layering of semi-early maturing genotypes. Obtained negative genetic gain of -2.44% for plant height, early-maturing genotypes, resulting in an effective reduction of 2.08 cm per year. It was not detected genetic gain for the traits grain yield, lodging, plant height, days from emergence to flowering and days from emergence to maturity, in the period between the seasons 2001/02 and 2013/14, to conventional soybean genotypes, independent of altitude and genotype maturity group. There was genetic gain for all characters evaluated for transgenic soybean genotypes ranging in the altitude of evaluation environments and maturity groups. The genetic gains for grain yield, were 59,38, 44,50 and 64,34 kg ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>, respectively for the early maturing genotypes, semi-early and medium in above 700 meters altitude environments. In environments below 700

meters, the genetic gains were 45,99, 58,37 and 84,32 kg ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>, respectively. Transgenic cultivars had average income below the conventional genotypes at the beginning of the evaluation period (2002/03 harvest), but in environments above and below 700 meters conventional and transgenic genotypes RG average equivalent by around 2009/10 and 2010/11, respectively, after these crops, the RG of transgenic genotypes have become higher. While there is no significant genetic gain for conventional genotypes, it was possible to identify promising lines among the crop of 1994/1995 and 2013/2014, the Embrapa soybean breeding program, which were released as high potential cultivars productive and agronomic characters desirable.

**Keywords:** *Glycine max*. Genetic progress. Transgenic. Adjusted means. Mixed models.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Regiões produtoras de soja no Brasil.....	28
Figura 2 -	Série histórica entre as safras de 1976/77 e 2014/2015 da área plantada, produtividade e produção total de soja no Brasil.....	29
Figura 3 -	Distribuição dos locais dos ensaios de VCU na região meridional do Brasil, no período entre as safras de 1994/95 e 2000/01. *Ambientes com dois ensaios no mesmo ano de avaliação.....	45
Figura 4 -	Distribuição dos locais dos ensaios de VCU na região meridional do Brasil, no período entre as safras de 2001/02 e 2013/14.....	66
Figura 5 -	Regressões das médias ajustadas do rendimento de grãos (kg ha <sup>-1</sup> ), dos genótipos novos de soja convencional de ciclo precoce (A), semiprecoce (C) e médio (E), e transgênica de ciclo precoce (B), semiprecoce (D) e médio (F), no total dos ambientes, no período entre as safras de 2001/02 até 2013/14. <sup>1</sup> : NS, *, **: Não significativo, significativo a 5 e a 1% de significância de erro pelo teste t, respectivamente; <sup>2</sup> : NS, *, **: Não significativo, significativo a 5 e a 1% de significância de erro pelo teste F, respectivamente..	86
Figura 6 -	Regressões das médias ajustadas do rendimento de grãos (kg ha <sup>-1</sup> ), dos genótipos novos de soja convencional de ciclo precoce (A), semiprecoce (C) e médio (E), e transgênica de ciclo precoce (B), semiprecoce (D) e médio (F), para ambientes acima de 700 metros de altitude, no período entre as safras de 2001/02 até 2013/14. <sup>1</sup> : NS, *, **: Não significativo, significativo a 5 e a 1% de significância de erro pelo teste t, respectivamente; <sup>2</sup> : NS, *, **: Não significativo, significativo a 5 e a 1% de significância de erro pelo teste F, respectivamente..	87
Figura 7 -	Regressões das médias ajustadas do rendimento de grãos (kg ha <sup>-1</sup> ), dos genótipos novos de soja convencional de ciclo precoce (A), semiprecoce (C) e médio (E), e transgênica de ciclo precoce (B), semiprecoce (D) e médio (F), para ambientes baixo de 700 metros de altitude, no período entre as safras de 2001/02 até 2013/14. <sup>1</sup> : NS, *, **: Não significativo, significativo a 5 e a 1% de significância de erro pelo teste t, respectivamente; <sup>2</sup> : NS, *, **: Não significativo, significativo a 5 e a 1% de significância de erro pelo teste F, respectivamente..	88

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Valores médios, mínimos (Min) e máximos (Max) dos caracteres rendimento de grãos (RG), acamamento (AC), estatura de planta (EP), dias da emergência ao florescimento (DEF) e dias da emergência a maturação (DEM) dos ensaios; do coeficiente de variação (C.V.); do número de tratamentos por ano e do número de experimentos por ano; do número de experimentos e; do número total de parcelas dos ensaios no total de ambientes avaliados, na região meridional do Brasil.....57
- Tabela 2 - Análise de variância dos caracteres rendimento de grãos (RG), acamamento (AC), estatura de planta (EP), dias da emergência ao florescimento (DEF) e dias da emergência a maturação (DEM) de genótipos de soja convencional, de diferentes ciclos (precoce, semiprecoce e médio), no período de 1994 a 2001, do programa de melhoramento de soja da Embrapa, na região meridional do Brasil.....58
- Tabela 3 - Estimativas do ganho genético e regressões das médias ajustadas para os caracteres rendimento de grãos (RG), acamamento (AC) e estatura de planta (EP), de genótipos de soja convencional, de diferentes ciclos, no total dos ambientes avaliados, ambientes acima e abaixo de 700 metros, no período de 1994 a 2001, do programa de melhoramento de soja da Embrapa, na região meridional do Brasil.....59
- Tabela 4 - Estimativas do ganho genético e regressões das médias ajustadas para os caracteres dias da emergência ao florescimento (DEF) e dias da emergência á maturação (DEM) de genótipos de soja convencional, de diferentes ciclos, no total dos ambientes avaliados, ambientes acima e abaixo de 700 metros, no período de 1994 a 2001, do programa de melhoramento de soja da Embrapa, na região meridional do Brasil.....60

Tabela 5 -	Taxa de seleção de genótipos de soja do ensaio de VCU da Embrapa, entre as safras 1994/95 e 2000/01, na região meridional do Brasil.....	61
Tabela 6 -	Relação do nome das linhagens que se tornaram cultivares e seus respectivos anos de lançamento, entre os anos de 1995 e 2001. ....	61
Tabela 7 -	Valores médios, mínimos (Min) e máximos (Max) do rendimento de grãos (RG), acamamento (AC), para coeficiente de variação (C.V.), número de tratamentos por ano, número de experimentos por ano, número de experimentos, de genótipo de soja convencionais (C) e transgênicos (T) entre as safras de 2001/02 e 2013/14, na região meridional do Brasil. ....	82
Tabela 8 -	Valores médios, mínimos (Min) e máximos (Max) do estatura de planta (EP), dias da emergência ao florescimento (DEF) e dias da emergência a maturação (DEM), para coeficiente de variação (C.V.), número de tratamentos por ano, número de experimentos por ano, número de experimentos, de genótipo de soja convencionais (C) e transgênicos (T) entre as safras de 2001/02 e 2013/14, na região meridional do Brasil. ....	83
Tabela 9 -	Análise de variância dos caracteres rendimento de grãos (RG), acamamento (AC), estatura de planta (EP), dias da emergência ao florescimento (DEF) e dias da emergência a maturação (DEM) de genótipos de soja convencional, de diferentes ciclos (precoce, semiprecoce e médio), em ambientes acima e abaixo de 700 metros, no período de 2002 a 2014, do programa de melhoramento de soja da Embrapa, na região meridional do Brasil. ....	84
Tabela 10 -	Estimativas do ganho genético e regressões das médias ajustadas do rendimento de grãos (kg ha <sup>-1</sup> ), dos genótipos novos de soja convencional e transgênico, de diferentes ciclos, no total dos ambientes avaliados, ambientes acima e abaixo de 700 metros, no período entre as safras de 2001/02 a 2013/14, do programa de melhoramento de soja da Embrapa, na região meridional do Brasil.....	85

Tabela 11 -	Estimativas do ganho genético e regressões das médias ajustadas das notas de acamamento (1 a 5), dos genótipos novos de soja convencional e transgênico, de diferentes ciclos, no total dos ambientes avaliados, ambientes acima e abaixo de 700 metros, no período entre as safras de 2001/02 a 2013/14, do programa de melhoramento de soja da Embrapa, na região meridional do Brasil.....	89
Tabela 12 -	Estimativas do ganho genético e regressões das médias ajustadas da estatura de planta (em cm), dos genótipos novos de soja convencional e transgênico, de diferentes ciclos, no total dos ambientes avaliados, ambientes acima e abaixo de 700 metros, no período entre as safras de 2001/02 a 2013/14, do programa de melhoramento de soja da Embrapa, na região meridional do Brasil.....	90
Tabela 13 -	Estimativas do ganho genético e regressões das médias ajustadas dos dias da emergência ao florescimento, dos genótipos novos de soja convencional e transgênico, de diferentes ciclos, no total dos ambientes avaliados, ambientes acima e abaixo de 700 metros, no período entre as safras de 2001/02 a 2013/14, do programa de melhoramento de soja da Embrapa, na região meridional do Brasil.....	91
Tabela 14 -	Estimativas do ganho genético e regressões das médias ajustadas dos dias da emergência à maturação fisiológica, dos genótipos novos de soja convencional e transgênico, de diferentes ciclos, no total dos ambientes avaliados, ambientes acima e abaixo de 700 metros, no período entre as safras de 2001/02 a 2013/14, do programa de melhoramento de soja da Embrapa, na região meridional do Brasil.....	92
Tabela 15 -	Taxa de seleção de genótipos de soja convencional do ensaio de VCU da Embrapa, entre as safras 2001/02 e 2013/14, na região meridional do Brasil.....	93
Tabela 16 -	Taxa de seleção de genótipos de soja transgênica (RR) do ensaio de VCU da Embrapa, entre as safras 2001/02 e 2013/14, na região meridional do Brasil.....	93
Tabela 17 -	Relação do nome das linhagens de soja convencionais e transgênicas que se tornaram cultivares e seus respectivos anos de lançamento, entre os anos de 2002 e 2014. ....	94

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC	Acamamento
BLUE	Best Linear Unbiased Estimator
BLUP	Best Linear Unbiased Predictor
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
DEF	Dias da Emergência ao Florescimento
DEM	Dias da Emergência à Maturação
GM	Grupo de Maturidade
DBC	Delineamento experimental de blocos casualizados
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EP	Estatura de Planta
EUA	Estados Unidos da América
IAPAR	Instituto Agrônômico do Paraná
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
QMR-	Menor quadrado médio do resíduo
QMR+	Maior quadrado médio do resíduo
RG	Rendimento de Grãos
RR	Roundup Ready®
VCU	Valor de Cultivo e Uso

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>23</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>26</b>
2.1	Cultura da Soja .....	26
2.2	GANHO GENÉTICO.....	31
2.3	REFERÊNCIAS.....	36
<b>3</b>	<b>ARTIGO A - GANHO GENÉTICO EM SOJA CONVENCIONAL NA REGIÃO MERIDIONAL DO BRASIL ENTRE 1994 E 2001</b> .....	<b>41</b>
3.1	RESUMO .....	41
3.2	INTRODUÇÃO.....	41
3.3	MATERIAL E MÉTODOS .....	44
3.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	49
3.5	CONCLUSÃO.....	53
3.6	REFERÊNCIAS .....	54
<b>4</b>	<b>ARTIGO B - GANHO GENÉTICO Em SOJA CONVENCIONAL E TRANSGÊNICA NA REGIÃO MERIDIONAL DO BRASIL ENTRE 2001 E 2014</b> .....	<b>62</b>
4.1	RESUMO .....	62
4.2	INTRODUÇÃO.....	63
4.3	MATERIAL E MÉTODOS .....	65
4.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	70
4.5	CONCLUSÃO.....	76
4.6	REFERÊNCIAS .....	78
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES GERAIS</b> .....	<b>95</b>

<b>APÊNDICES -</b>	<b>ARTIGO A.....</b>	<b>97</b>
Apêndice A1 -	Relação entre o maior e menor quadrados médios do resíduo do rendimento de grão (kg ha <sup>-1</sup> ), de genótipos convencionais de soja de ciclos precoce e médio para o período entre as safras 1994/1995 e 2000/2001, para todos os ambientes avaliados. ....	98
Apêndice A2 -	Relação entre o maior e menor quadrados médios do resíduo do rendimento de grão (kg ha <sup>-1</sup> ), de genótipos convencionais de soja de ciclos precoce e médio para o período entre as safras 1994/1995 e 2000/2001, para ambientes acima de 700 metros de altitude. ....	98
Apêndice A3 -	Relação entre o maior e menor quadrados médios do resíduo do rendimento de grão (kg ha <sup>-1</sup> ), de genótipos convencionais de soja de ciclos precoce e médio para o período entre as safras 1994/1995 e 2000/2001, para ambientes abaixo de 700 metros de altitude. ....	99
Apêndice A4 –	Relação entre o maior e menor quadrados médios do resíduo do acamamento (AC), de genótipos convencionais de soja de ciclos precoce e médio para o período entre as safras 1994/1995 e 2000/2001, para diferentes ambientes .....	100
Apêndice A5 -	Relação entre o maior e menor quadrados médios do resíduo do caractere estatura de planta (EP), de genótipos convencionais de soja de ciclos precoce e médio para o período entre as safras 1994/1995 e 2000/2001, para todos os ambientes avaliados. ....	101
Apêndice A6 -	Relação entre o maior e menor quadrados médios do resíduo da estatura de planta (EP), de genótipos convencionais de soja de ciclos precoce e médio para o período entre as safras 1994/1995 e 2000/2001, para os ambientes acima de 700m de altitude. ....	101
Apêndice A7 -	Relação entre o maior e menor quadrados médios do resíduo da estatura de planta (EP), de genótipos convencionais de soja de ciclos precoce e médio para o	

	período entre as safras 1994/1995 e 2000/2001, para ambientes abaixo de 700 metros de altitude. ....	102
Apêndice A8 -	Relação entre o maior e menor quadrados médios do resíduo dos dias de emergência ao florescimento (DEF), de genótipos convencionais de soja de ciclos precoce e médio para o período entre as safras 1994/1995 e 2000/2001, para todos os ambientes avaliados.....	103
Apêndice A9 -	Relação entre o maior e menor quadrados médios do resíduo dos dias de emergência ao florescimento (DEF), de genótipos convencionais de soja de ciclos precoce e médio para o período entre as safras 1994/1995 e 2000/2001, para os ambientes acima de 700m de altitude.....	103
Apêndice A10 -	Relação entre o maior e menor quadrados médios do resíduo dos dias de emergência ao florescimento (DEF), de genótipos convencionais de soja de ciclos precoce e médio para o período entre as safras 1994/1995 e 2000/2001, para os ambientes abaixo de 700m de altitude.....	104
Apêndice A11 -	Relação entre o maior e menor quadrados médios do resíduo dos dias de emergência a maturação (DEM), de genótipos convencionais de soja de ciclos precoce e médio para o período entre as safras 1994/1995 e 2000/2001, para todos os ambientes avaliados.....	104
Apêndice A12 -	Relação entre o maior e menor quadrados médios do resíduo dos dias de emergência a maturação (DEM), de genótipos convencionais de soja de ciclos precoce e médio para o período entre as safras 1994/1995 e 2000/2001, para os ambientes acima de 700m de altitude.....	105
Apêndice A13 -	Relação entre o maior e menor quadrados médios do resíduo dos dias de emergência a maturação (DEM), de genótipos convencionais de soja de ciclos precoce e médio para o período entre as safras 1994/1995 e 2000/2001, para os ambientes abaixo de 700m de altitude.....	105

ARTIGO B .....	106
Apêndice B1 - Relação entre o maior e menor quadrados médios do resíduo do rendimento de grão ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), de genótipos convencionais e transgênicos de soja de ciclos precoce e médio para o período entre as safras 2001/2002 e 2013/2014, para todos os ambientes avaliados.....	107
Apêndice B2 - Relação entre o maior e menor quadrados médios do resíduo do rendimento de grão ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), de genótipos convencionais e transgênicos de soja de ciclos precoce e médio para o período entre as safras 1994/1995 e 2000/2001, para ambientes acima de 700 metros de altitude. ....	108
Apêndice B3 - Relação entre o maior e menor quadrados médios do resíduo do rendimento de grão ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), de genótipos convencionais e transgênicos de soja de ciclos precoce e médio para o período entre as safras 1994/1995 e 2000/2001, para ambientes abaixo de 700 metros de altitude. ....	109
Apêndice B4 - Relação entre o maior e menor quadrados médios do resíduo do acamamento (AC), de genótipos convencionais e transgênicos de soja de ciclos precoce e médio para o período entre as safras 1994/1995 e 2000/2001, para diferentes ambientes.....	110
Apêndice B5 - Relação entre o maior e menor quadrados médios do resíduo do acamamento (AC), de genótipos convencionais e transgênicos de soja de ciclos precoce e médio para o período entre as safras 1994/1995 e 2000/2001, para ambientes acima de 700 metros de altitude. ....	111
Apêndice B6 - Relação entre o maior e menor quadrados médios do resíduo do acamamento (AC), de genótipos convencionais e transgênicos de soja de ciclos precoce e médio para o período entre as safras 1994/1995 e 2000/2001, para ambientes abaixo de 700 metros de altitude. ....	112

Apêndice B7 -	Relação entre o maior e menor quadrados médios do resíduo do caractere estatura de planta (EP), de genótipos convencionais e transgênicos de soja de ciclos precoce e médio para o período entre as safras 1994/1995 e 2000/2001, para todos os ambientes avaliados.....	113
Apêndice B8 -	Relação entre o maior e menor quadrados médios do resíduo da estatura de planta (EP), de genótipos convencionais e transgênicos de soja de ciclos precoce e médio para o período entre as safras 1994/1995 e 2000/2001, para os ambientes acima de 700m de altitude.....	114
Apêndice B9 -	Relação entre o maior e menor quadrados médios do resíduo da estatura de planta (EP), de genótipos convencionais e transgênicos de soja de ciclos precoce e médio para o período entre as safras 1994/1995 e 2000/2001, para ambientes abaixo de 700 metros de altitude. ....	115
Apêndice B10 -	Relação entre o maior e menor quadrados médios do resíduo dos dias de emergência ao florescimento (DEF), de genótipos convencionais e transgênicos de soja de ciclos precoce e médio para o período entre as safras 1994/1995 e 2000/2001, para todos os ambientes avaliados.....	116
Apêndice B11 -	Relação entre o maior e menor quadrados médios do resíduo dos dias de emergência ao florescimento (DEF), de genótipos convencionais e transgênicos de soja de ciclos precoce e médio para o período entre as safras 1994/1995 e 2000/2001, para os ambientes acima de 700m de altitude. ....	117
Apêndice B12 -	Relação entre o maior e menor quadrados médios do resíduo dos dias de emergência ao florescimento (DEF), de genótipos convencionais e transgênicos de soja de ciclos precoce e médio para o período entre as safras	

	1994/1995 e 2000/2001, para os ambientes abaixo de 700m de altitude. ....	118
Apêndice B13 -	Relação entre o maior e menor quadrados médios do resíduo dos dias de emergência a maturação (DEM), de genótipos convencionais e transgênicos de soja de ciclos precoce e médio para o período entre as safras 1994/1995 e 2000/2001, para todos os ambientes avaliados.....	119
Apêndice B14 -	Relação entre o maior e menor quadrados médios do resíduo dos dias de emergência a maturação (DEM), de genótipos convencionais e transgênicos de soja de ciclos precoce e médio para o período entre as safras 1994/1995 e 2000/2001, para os ambientes acima de 700m de altitude. ....	120
Apêndice B15 -	Relação entre o maior e menor quadrados médios do resíduo dos dias de emergência a maturação (DEM), de genótipos convencionais e transgênicos de soja de ciclos precoce e médio para o período entre as safras 1994/1995 e 2000/2001, para os ambientes abaixo de 700m de altitude. ....	121

## 1 INTRODUÇÃO

Os programas de melhoramento genético de soja são essenciais para atender à crescente demanda por maiores produtividades, possibilitando, através da criação de variabilidade e ampliação da base genética, a seleção dos melhores genótipos de uma população, com alta produtividade, estabilidade de produção e ampla adaptação aos mais variados ambientes de cultivo, capazes de superar os patamares de produtividade (COSTA et al., 2004).

A principal maneira de estudar o comportamento de cultivares e/ou linhagens é por meios de ensaios de competição instalados em diferentes ambientes por vários anos. Essa avaliação é realizada através de ensaios internacionais, nacionais, regionais e locais (NUNES et al., 2002). Para o registro e proteção de novas cultivares no Brasil, programas de melhoramento devem conduzir ensaios em vários locais, de acordo com as regiões de valor de cultivo e uso (VCU). As linhagens de soja devem ser avaliadas em, pelos menos, um local em cada região edafoclimática de importância para a cultura, por pelo menos dois anos. Os ensaios de VCU e DHE (Distinguibilidade, Homogeneidade e Estabilidade) são exigências para o registro e proteção de novas cultivares no Brasil de acordo com a Lei nº 10.711, de 05 de agosto de 2003 regulamentada pelo Decreto nº 5.153, de 23 de julho de 2004 (MAPA, 2007).

Entretanto, a interação genótipos x ambientes constitui-se num dos maiores problemas dos programas de melhoramento, seja na fase de seleção ou recomendação de cultivares (BARROS et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2006). Diante da existência de interação genótipos x ambientes, são necessárias avaliações contínuas, em redes de ensaios de VCU, a fim de determinar o comportamento agrônômico dos genótipos (PORTO et al., 2007).

Contudo, a administração de um programa de melhoramento de plantas exige também que se conheçam os resultados obtidos a cada ano dos métodos empregados na avaliação de genótipos. Sendo assim, programas de melhoramento, especialmente aqueles cujos recursos apresentam limitações, devem, periodicamente, ser submetidos à análise crítica com relação às suas contribuições e estar em busca de novas metodologias que possam contribuir na melhoria da sua eficácia (BRESEGHELLO et al., 1999; FARIA et al., 2007; MATOS et al., 2007).

Neste contexto, a estimativa do ganho ou progresso genético constitui uma opção para ser utilizada nessa análise, sendo que, as informações produzidas através das estimativas do ganho genético contribuem para a compreensão dos acontecimentos do passado, permitindo a elaboração de novas estratégias, adoção de métodos corretivos e alocação de recursos, que em conjunto, resultará em um aumento na eficácia de programas de melhoramento (FARIA, 2011; LANGE; FEDERIZZI, 2009). A existência de ganho anual remete à eficiência do programa, ao passo que a ausência de ganhos deve ser tratada com cautela e novas estratégias devem ser definidas (BORNHOFEN, 2015).

Técnicas de avaliação do progresso genético, que utilizam informações obtidas em testes obrigatórios de linhagens nos programas de melhoramento, permitem o acompanhamento do ganho genético das linhagens obtidas ao longo dos anos de maneira econômica e eficiente. O acompanhamento deste progresso fornece subsídios importantes para avaliação e planejamento das atividades de melhoramento (VENCOVSKY et al, 1986; ALLIPRANDINI, et al, 1993). A avaliação do progresso genético também permite fazer inferências comparativas entre o ganho genético de linhagens de diferentes perfis, com caracteres agronômicos diferenciados, como por exemplo, o ciclo e/ou o tipo agronômico (genótipos convencionais ou transgênicos). Essas informações permitem evidenciar a eficiência dos programas de melhoramento em fazer seleção de genótipos com um determinado perfil em detrimento a outro, sendo esse perfil baseado nas preferências do mercado consumidor.

Estudos realizados para estimar o ganho genético de genótipos de soja, no Canadá, observaram que o ganho genético de genótipos de soja precoce foi de aproximadamente 0,5% por ano, em genótipos lançados de 1934 até 1992, sendo que o aumento do rendimento de grãos, associado aos anos de lançamento dos genótipos, está correlacionado com o aumento significativo no número de sementes por planta, aumento no índice de colheita, fotossíntese, condutância estomática e diminuição no índice de área foliar (MORRISON et al., 1999; MORRISON et al., 2000).

Em trabalho realizado por Ustun et al. (2001), nos EUA, avaliando o ganho genético de genótipos lançados nas décadas de 1940 (linhas ancestrais), 1950, 1970 e 1980, observaram um aumento linear na produtividade, ao longo do tempo ( $14 \text{ kg ha}^{-1}$  por ano), enfatizando que este aumento é fruto do progresso

genético realizado pelos melhoristas de soja. Os autores observaram que a média de rendimento das cultivares de soja testadas foi aproximadamente 27% mais elevada que cultivares ancestrais, bem como, que os cultivares atuais mostraram maior estabilidade de produção e resposta às condições favoráveis de crescimento. Os autores evidenciam que o melhoramento genético resultou na redução da estatura da planta e menor acamamento. Houve aumento do teor de óleo até os anos 1980, posteriormente começou a diminuir, e, por estar negativamente correlacionado, o teor de proteína elevou-se.

No Brasil, diversos autores observaram ganho genético no rendimento de grãos na soja, sendo que este oscilou de -0,28% à 3,49% ao ano, entre 1979 e 1999, considerando todos os grupos de maturação (ALLIPRANDINI et al., 1993; LANGE; FEDERIZZI, 2009; TOLEDO et al., 1990). Entretanto, o ganho genético obtido em soja é considerado razoável e acredita-se que esse progresso possa ser significativamente aumentado se forem usadas técnicas refinadas de melhoramento, desenvolvidas a partir do conhecimento do controle genético e do ambiente sobre a produtividade (TOLEDO et al., 2000).

Desta forma, os objetivos deste trabalho foram determinar o ganho genético de genótipos de soja dos anos de 1994 até 2014; comparar as estimativas de ganho genético entre linhagens convencionais e transgênicas; comparar as estimativas de ganho genético entre linhagens de diferentes ciclos e; comparar as estimativas de ganho genético das linhagens em diferentes ambientes, do programa de melhoramento de soja da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa).

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Cultura da Soja

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) cultivada atualmente apresenta características diferenciais em comparação aos seus ancestrais, que eram plantas rasteiras que se desenvolviam na costa leste da Ásia, principalmente ao longo do Rio Amarelo, na China. Sua evolução começou com o aparecimento de plantas oriundas de cruzamentos naturais, entre duas espécies de soja selvagem, posteriormente domesticadas e melhoradas por cientistas da antiga China. Sua importância na dieta alimentar da antiga civilização chinesa era tal, que a soja era considerada um grão sagrado, com direito a cerimônias ritualísticas na época da semeadura e da colheita (EMBRAPA, 2004).

A soja é um grão muito versátil que dá origem a produtos e subprodutos muito usados pela agroindústria, indústria química e de alimentos. Na alimentação humana, a soja entra na composição de vários produtos. Na indústria é utilizada na fabricação de adesivos e nutrientes, alimentação animal, adubos, formulador de espumas, fabricação de fibra, revestimento, papel emulsão de água para tintas, dentre outras. Recentemente, a soja vem crescendo também como fonte alternativa de combustível (EMBRAPA, 2015).

Embora havendo registros históricos anteriores, a introdução da soja no Brasil tem o ano de 1901 como marco principal, pois efetivamente se iniciou os cultivos de soja na Estação Agropecuária de Campinas e a distribuição de sementes para produtores paulistas. No entanto, o cultivo comercial dessa leguminosa só começou a ter expressão econômica no início da década de 1940, no Rio Grande do Sul, sendo que, a verdadeira expansão da soja no Brasil começa mesmo nos anos 1970, incentivadas pela ampliação da indústria de óleo, bem como pelo aumento da demanda internacional (APROSOJA, 2012).

Um marco importantes no Brasil deu-se através da aprovação da Lei Nº 9.456, de 25 de Abril de 1997 (BRASIL, 2016), conhecida como Lei de Proteção de Cultivares, que instituiu a proteção dos direitos relativos à propriedade intelectual referente a cultivar, permitindo a cobrança de royalties sobre cultivares protegidas e abrindo mercado para um grande número de empresas, principalmente privadas,

participarem do mercado, investindo no lançamento de genótipos competitivos, altamente produtivos e com características agronômicas favoráveis.

No entanto, os organismos geneticamente modificadas, foram liberados no Brasil, através da aprovação da Lei Nº 11.105, de 24 de Março de 2005 (BRASIL, 2015), a qual estabelece normas de segurança e mecanismos de fiscalização sobre a construção, o cultivo, a produção, a manipulação, o transporte, a transferência, a importação, a exportação, o armazenamento, a pesquisa, a comercialização, o consumo, a liberação no meio ambiente e o descarte de organismos geneticamente modificados. Após sua aprovação, o cultivo de soja transgênica (geneticamente modificada) ganhou área frente à soja convencional.

Atualmente o cultivo da soja está distribuído em boa parte do país, principalmente nas Regiões Centro-Oeste e Sul (Figura 1), sendo estas as principais regiões produtoras (CONAB, 2015). A expansão da soja no Brasil deve-se principalmente ao lançamento de cultivares, com características agronômicas de melhor adaptação às condições edafoclimáticas, pelos programas de melhoramento, a evolução no manejo e tratos culturais das lavouras, bem como a demanda de produto pelo mercado consumidor (PRIOLLI et al., 2004; PEREIRA, 2004)

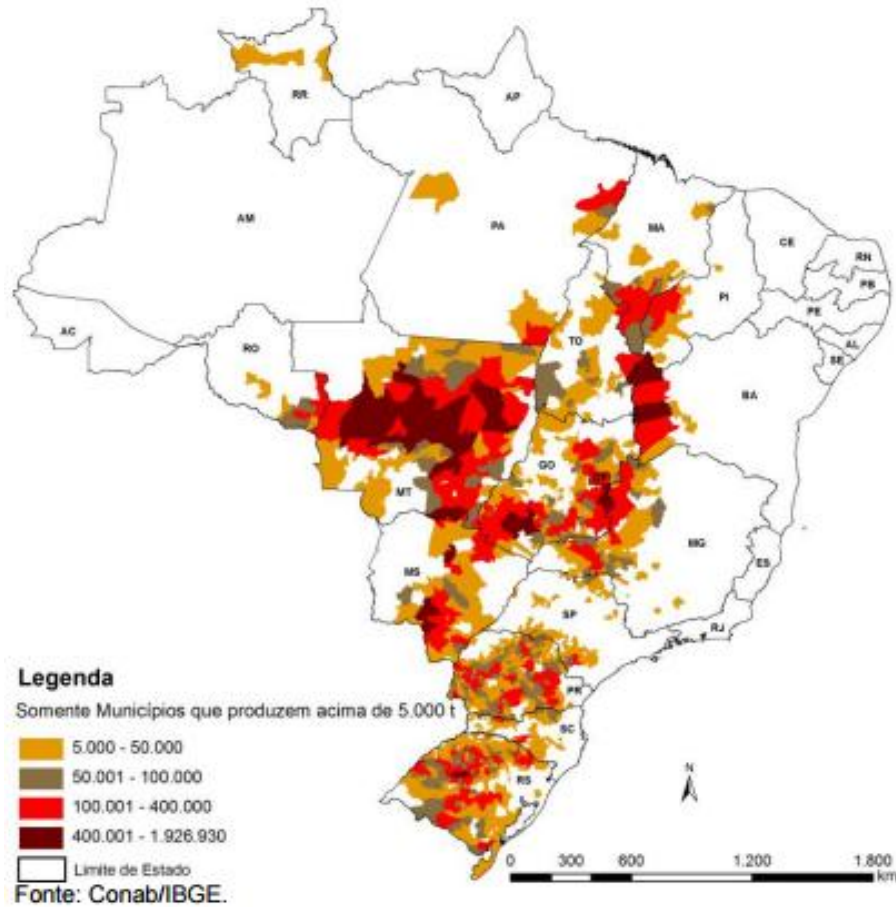


Figura 1. Regiões produtoras de soja no Brasil. Fonte: CONAB, 2015.

Houve, com o passar dos anos, um avanço significativo na área plantada, produtividade média e produção total da soja no Brasil, como fica evidente na série histórica entre as safras 1976/77 e 2014/25 (Figura 2).

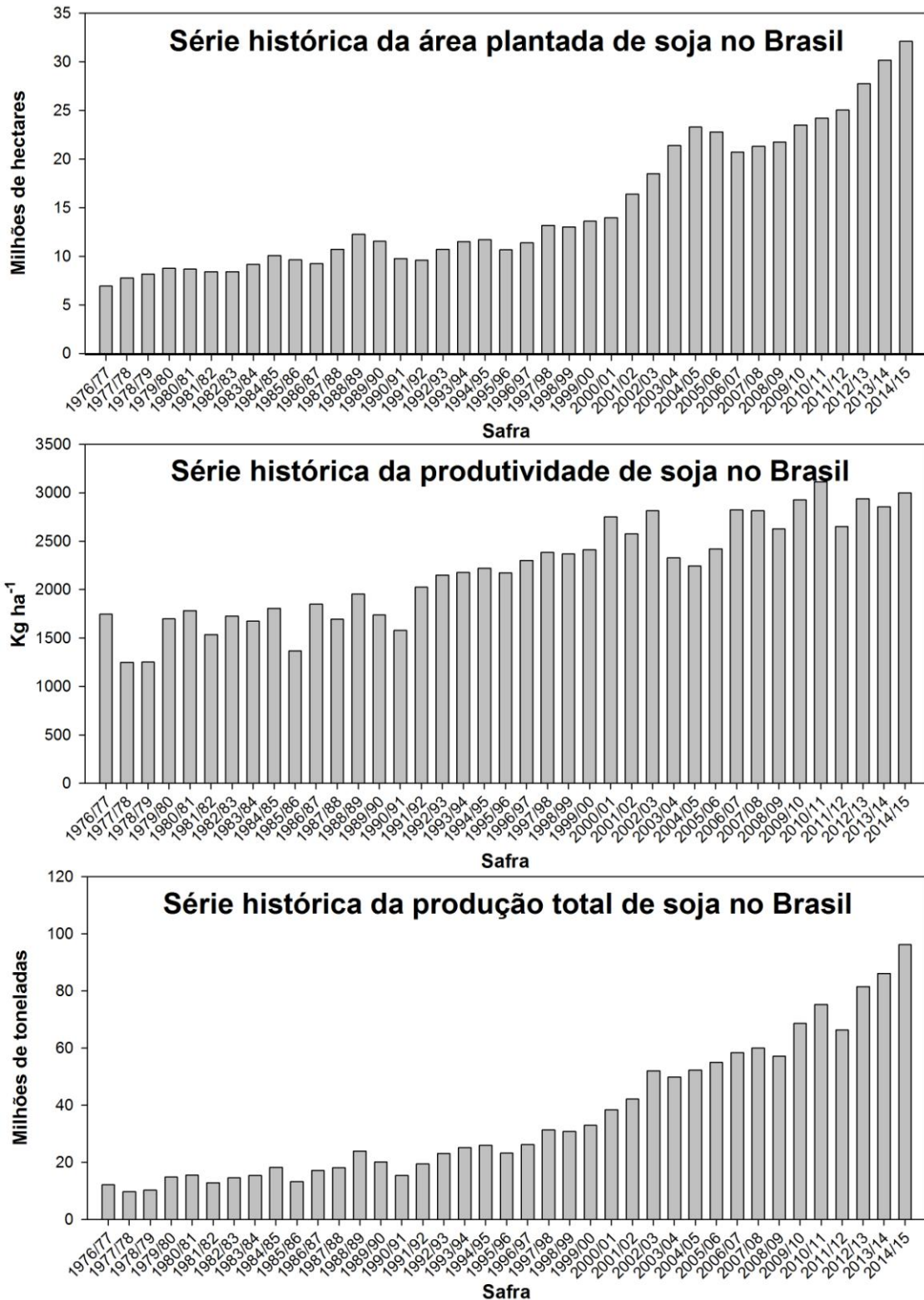


Figura 2. Série histórica entre as safras de 1976/77 e 2014/2015 da área plantada, produtividade e produção total de soja no Brasil. Fonte: Adaptado de CONAB, 2015.

O incremento médio de 32,92 kg ha<sup>-1</sup> por ano na produtividade, entre as safras de 1976/77 e 2014/15 (CONAB, 2015), foi proporcionado principalmente pela utilização de novas tecnologias e de materiais genéticos de alto potencial produtivo (TORRES et al., 2015) e pela expansão na área de cultivo. Rowntree et al. (2013) citam que cerca de metade do ganho de rendimento em grãos de soja pode ser atribuída ao melhoramento genético. Os autores supõem que a metade restante, pode ser o resultado das melhores práticas agronômicas e da interação potencialmente sinérgica de avanços genéticos e das melhores práticas de manejo.

A sétima estimativa realizada pela Conab (2015) aponta para a safra brasileira de soja na temporada atual (2014/15), uma produção de aproximadamente 96,2 milhões de toneladas, representando um incremento de 11,8% em relação à safra 2013/14. Esta produção derivou de um crescimento de 6,4% na área colhida e um aumento na produtividade média de 5,1%, comparativamente ao exercício passado (CONAB, 2015).

No ano de 2014, a soja geneticamente modificada (GM) ocupou uma área de 29,1 milhões de hectares, do total de 31,2 milhões de hectares cultivados com soja no Brasil, contra 26,9 milhões de hectares, em 2013, o equivalente a um crescimento de 7,9% com uma taxa de adoção média de 93,2% da área plantada. A maior taxa de adoção, por região, foi na região Sul com 94,7%, seguido pela Sudeste (94,3%) e 94,2% na região Centro-Oeste. Taxas elevadas de adoção fazem do Brasil o segundo maior produtor de cultivos geneticamente modificados do mundo (ISAAA, 2015).

A maior área plantada com a oleaginosa, 14,6 milhões de hectares, ocorreu na Região Centro-Oeste apresentando neste ano um incremento de 5,1% sobre o exercício anterior. Na Região Sul, a área cultivada atingiu 11,1 milhões de hectares, apresentando um incremento de 5,5% em relação à safra 2013/14 (CONAB, 2015).

Na Região Sul, segunda maior produtora de soja do país, houve um forte incremento na produtividade oriundo de uma combinação entre temperaturas adequadas e boa distribuição de chuvas ao longo do desenvolvimento da lavoura. Esse desempenho teve ainda o suporte do aumento da área plantada e da produtividade dos dois mais importantes estados produtores, Paraná e Rio Grande do Sul.

## 2.2 GANHO GENÉTICO

O ganho (progresso) genético refere-se às alterações observadas nas características de interesse durante um ciclo de seleção, com a recombinação e multiplicação das unidades selecionadas. Tais modificações ocorrerão em magnitude e sentido variados, dependendo da estratégia e dos critérios de seleção adotados. Desta forma, o progresso genético direcionado em qualquer espécie está relacionado à existência de variabilidade genética, à seleção natural e/ou artificial e ao ajuste dos genótipos aos diferentes ambientes (REIS et al., 2004).

Diversos autores avaliaram o progresso genético em várias culturas como a aveia-branca (BARBOSA NETO et al. 2000), feijoeiro comum (CHIORATO et al., 2010; FARIA, 2011; FONSECA JUNIOR, 1997; MATOS et al., 2007), milho (STORCK et al., 2005), trigo (BRANCOURT-HULMEL et al., 2003, CARGNIN et al., 2009; ROGRIGUES et al., 2007), arroz (DOVALE et al., 2012; SOARES et al., 1999) e soja (ALLIPRANDINI et al., 1993; LANGE e FEDERIZZI, 2009; RUBIN e SANTOS, 1996; SPECHT et al., 1999; TOLEDO et al., 1990), observando progresso genético com o decorrer dos anos.

Fonseca Júnior (1997) avaliou o progresso genético do programa de melhoramento do feijoeiro-comum do Instituto Agrônômico do Paraná – IAPAR, para os grupos carioca e preto, com base em ensaios intermediários e finais de competição de genótipos no período de 1977 a 1995, utilizando o método da regressão com médias ajustadas. As estimativas do progresso genético obtidas, no estado do Paraná por um período de 17 anos, foram de 1,42% ao ano para o grupo carioca e de 1,64% ao ano para o grupo preto, que corresponde a um aumento de produtividade de 18,6 kg/ha ao ano e 22,1 kg/ha ao ano, respectivamente.

Com o objetivo de avaliar a contribuição do melhoramento genético na produtividade de grãos em trigo e identificar as características fisiológicas, associadas ao incremento do rendimento, Rodrigues et al. (2007) avaliaram sete cultivares de trigo, extensivamente cultivadas na região Sul do Brasil entre 1940 e 1992. Os autores observaram que o número de grãos por metro quadrado foi o componente mais afetado pelo melhoramento genético, no período de 52 anos abrangidos pelo estudo, e esteve mais correlacionado ao rendimento de grãos do que o peso de grãos. O maior número de grãos por metro quadrado, observado nas cultivares modernas, foi mais correlacionado com seu número de grãos por espiga,

em relação às cultivares antigas. O ganho genético na produção de grãos foi de 44,9 kg ha<sup>-1</sup> por ano e as variações em rendimento de grãos, ocorridas no período de estudo, estiveram mais associadas à produção de biomassa do que ao índice de colheita.

Chiorato et al. (2010), no Estado de São Paulo, avaliaram o progresso genético obtido para a produtividade de grãos de genótipos de feijoeiro--comum do programa de melhoramento do IAC entre os anos de 1989 a 2007, utilizando o método REML/BLUP. O progresso genético foi desmembrado em dois períodos de pesquisa, de 1989 a 1996 (primeiro período) e de 1997 a 2007 (segundo período). No primeiro período foi obtido um progresso genético relativo de 1,07 % por ano, enquanto que para o segundo período, a estimativa de ganho genético foi igual a zero, mas com produtividade média das linhagens em torno de 1000 kg/ha superior ao primeiro período. Foi possível constatar que a principal causa da ausência de progresso genético no segundo período ocorreu após o início dos trabalhos de melhoramento genético para o desenvolvimento de linhagens com melhor qualidade de grãos.

Com relação ao ganho genético de soja, Ustun et al. (2001), avaliando linhas ancestrais e cultivares de soja representantes das décadas de 1950, 1960 e 1980, do meio sul dos Estados Unidos, observou que a estabilidade produtiva de linhas ancestrais foi menor que das cultivares, sendo, as linhas ancestrais, menos responsivas às melhores condições de crescimento. Os autores constataram que a média de rendimento das cultivares de soja testadas foi aproximadamente 27% mais elevada que cultivares ancestrais, enfatizando que o aumento linear no rendimento, ao longo do tempo, é fruto do progresso genético realizado pelos melhoristas de soja.

Da mesma forma, Specht et al. (1999) observaram que o rendimento de grãos de soja, nos EUA, subiram 22,6 kg ha<sup>-1</sup> por ano de 1924 a 1997, mas no período de 1972 a 1997, subiram 40% mais rápido (31,4 kg ha<sup>-1</sup> por ano). Esta tendência ascendente de rendimento nas lavouras é alimentada pela adoção rápida, pelo produtor, de tecnologias emergentes da pesquisa agrícola. As estimativas do ganho anual de rendimento atribuível ao melhoramento genético, em média, são cerca de 15 kg ha<sup>-1</sup> por ano antes da década de 1980, mas em 1997 é em média cerca de 30 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Neste contexto, fica evidente a importância dos programas de melhoramento no incremento anual do rendimento de grãos na cultura da soja.

Wilson et al. (2014), avaliaram cultivares de soja lançadas entre 1923 e 2008 para os grupos de maturidade (GM) II e III, em vários ambientes sem limitação de fertilizantes nitrogenados (N). Os autores levantaram a hipótese de que o rendimento de grãos e a qualidade de sementes seria melhorada com o fornecimento não limitado de N, especialmente para as cultivares modernas. Observaram acréscimos no rendimento médio de grãos de  $17,2 \text{ kg ha}^{-1}$  para o total de genótipos. Entretanto, quando avaliado separadamente os genótipos por GM, observaram que o fornecimento não limitado de N aumentou o teor de proteínas de 10 para  $19,5 \text{ g kg}^{-1}$ , em função do ano de lançamento, para cultivares do GM II, não afetando o rendimento de grãos e o teor de óleo dos grãos. Para cultivares do GM III, observaram ganhos de rendimento de grãos de  $27,4 \text{ kg ha}^{-1}$  por ano, com adubação nitrogenada, que foi 20% melhor comparado com genótipos submetidos ao tratamento sem adubação ( $22,8 \text{ kg ha}^{-1}$  por ano). Os autores concluíram que o fornecimento não limitativo de N aumentou a proteína da semente, em todos os anos de lançamento dos cultivares do GM II, e que o suprimento de N do solo e proveniente da fixação biológica do N foram insuficiente para maximizar o rendimento de grãos em cultivares modernas do GM III.

Rincker et al. (2013), com o objetivo de quantificar as alterações genéticas no rendimento de grãos e demais característica agronômicas durante o período de 80 anos (entre 1923 e 2008) de melhoramento de soja, na América do Norte (EUA e Canadá), para os grupos de maturidade (GM) II, III, e IV, observaram um ganho genético de  $23 \text{ kg ha}^{-1}$  por ano para GMs II e III, e  $20 \text{ kg ha}^{-1}$  por ano para cultivares do GM IV, sendo que cultivares modernas apresentaram maiores rendimento de grãos comparadas com cultivares antigas, particularmente em ambientes de alto rendimento.

Na China, Jin et al. (2010) avaliando 45 cultivares de soja lançadas entre 1950 e 2006, à campo por 3 anos consecutivos, observaram uma correlação positiva entre produção de grãos e ano de lançamento cultivar, indicando um aumento médio anual de 0,58% na produtividade. Averiguaram também, que o número de grãos por planta foi o contribuinte mais importante para se obter ganho, com um aumento de 0,41% ao ano. Houveram aumento de 33% na taxa fotossintética, sendo que as cultivares modernas apresentaram taxas fotossintéticas mais altas do que seus antecessores, de 10,6% na produção de matéria seca e de 19,0% no índice de colheita, porém o índice de área foliar diminuiu 17,3%. A

reduzida altura de planta proporcionou maior resistência ao acamamento, com queda nas notas de acamamento 3,2 em 1951 para 1,0 em 2006. A resistências à doença e infestação de pragas também foi melhorada ao longo dos anos bem como a estabilidade de produção. Na Índia, Karmakar e Bhatnagar (1996), avaliaram três cultivares de soja representativas dos cultivares lançados no período entre 1969 e 1993, obtiveram ganho genético de 22 kg ha<sup>-1</sup> por ano.

Com relação ao ganho genético de soja no Brasil, Toledo et al. (1990) relata que os ganhos genéticos anuais dos programas de melhoramento de soja no Paraná, no período de 1981 a 1986 oscilaram entre 1,3% e 1,8%. Já Alliprandini et al. (1993), avaliando a eficiência dos programas de melhoramento genético de soja no mesmo estado, no período de 1985/85 a 1989/90, observaram um ganho médio anual na ordem de 0,89% para soja do grupo de maturação precoce, 0,38% para o grupo semi-precoce e -0,28% para o grupo médio.

Rubin e Santos (1996), avaliando cultivares de soja lançadas em um período de 40 anos (de 1950 a 1990), observaram que cultivares de soja proporcionaram ganho genético médio de 19 kg ha<sup>-1</sup> por ano, porém, os ganhos em rendimento de grãos vem diminuindo com o decorrer do tempo, em função do alto potencial de rendimento já alcançado e da constante utilização do mesmo germoplasma básico nas hibridações.

Lange e Federizzi (2009) avaliando os resultados de rendimento de grãos de 20 anos de experimentos de avaliação de linhagens derivadas de quatro programas de melhoramento de soja, de três grupos de maturação (precoce, médio e tardio) e em quatro regiões de cultivo do Estado do Rio Grande do Sul, observaram que os ganhos estimados variaram de zero a 71,5 kg ha<sup>-1</sup> por ano (3,49% ao ano), dependendo do grupo de maturação e da região, entretanto, não foi detectado avanço genético para o grupo precoce em nenhuma das quatro regiões. Desta forma os autores concluem que os esforços dos programas de melhoramento genético não refletiram de forma equivalente entre os grupos de maturação e não beneficiaram igualmente as regiões produtoras, indicando que os objetivos do melhoramento de soja no Estado do Rio Grande do Sul devem ser reavaliados.

De acordo com a literatura fica evidente, na grande maioria dos casos, a presença de ganho genético na cultura da soja. Porém, o ganho genético obtido em soja pode ser influenciado por alguns fatores sejam eles de cunho genético, como é o caso de genótipos de grupo de maturação diferentes (LANGE;

FEDERIZZI, 2009) e/ou perfil agronômico (genótipos convencionais ou transgênicos), bem como de cunho ambiental, ou seja, a influencia do ambientes no ganho genético dos genótipos de soja.

Lima et al. (2008) avaliaram a produtividade e a adaptação de genótipos de soja convencional e soja transgênica resistente ao herbicida glifosato (RR), dos ensaios finais de VCU da Embrapa Soja, de diferentes grupos de maturação, em 15 ambientes, nos anos agrícolas de 2001/2002 a 2004/2005. Observaram que não há diferença significativa no desempenho produtivo entre a soja convencional e a transgênica, independentemente do grupo de maturação. Os autores justificam que, embora o programa de desenvolvimento da soja RR seja recente, em comparação ao da soja convencional, a similaridade entre as médias ocorreu provavelmente em razão do método de melhoramento adotado pela Embrapa Soja, que introduziu o gene de resistência ao herbicida (RR - Roundup Ready®), por retrocruzamento, nas melhores cultivares comerciais convencionais.

## 2.3 REFERÊNCIAS

ALIPRANDINI, Luíz, F.; TOLEDO, José, F.F. de; FONSECA JR. Nelson S.; KIIHL, Romeu A. de S.; ALMEIDA, Leones A. de Ganho genético em soja no Estado do Paraná, via melhoramento, no período de 1985/86 a 1989/90. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.28, n.4, p.489-497, abr. 1993.

APROSOJA - Associação dos produtores de soja e milho do Estado de Mato Grosso. **A História da Soja**. Disponível em: <<http://www.aprosoja.com.br/sobre-soja/Paginas/Historia-da-Soja.aspx>> Acesso em: 04 Jun. 2012.

BARBOSA NETO, José F.; MATIELLO, Rodrigo R.; CARVALHO, Fernando I.F. de; OLIVEIRA, João M.S.; PEGORARO, Diego G.; SCHNEIDER, Fernanda; SORDI, Maria E.B.; VACARO, Elton. Progresso genético no melhoramento da aveia-branca no Sul do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.8, p.1605-1612, 2000.

BARROS, Hélio B.; SEDIYAMA, Tuneo; TEIXEIRA, Rita de C.; FIDELIS, Rodrigo R.; CRUZ, Cosme D.; REIS, Múcio S. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de soja avaliados no estado do Mato Grosso. **Revista Ceres**, Viçosa, v.57, n.3, p.359-366, mai/jun, 2010.

BRANCOURT-HULMEL, M.; DOUSSINAULT, G.; LECOMTE, C.; BE´ RARD, P.; LE BUANEC, B.; TROTET, M. Genetic improvement of agronomic traits of winter wheat cultivars released in France from 1946 to 1992. **Crop Science**, Madison, v.43, p.37-45, jul, 2003.

BRASIL. **Lei Nº 9.456, de 25 de Abril de 1997**. Institui a Lei de Proteção de Cultivares e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 25 de Abril de 2005. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L9456.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9456.htm). Acesso em: 12 jan 2016.

BRASIL. **Lei Nº 11.105, de 24 de Março de 2005**. Estabelece normas de segurança e mecanismos de fiscalização de atividades que envolvam organismos geneticamente modificados. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 8 de Março de 2005. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2005/lei/l11105.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/lei/l11105.htm). Acesso em: 19 set 2015.

BRESEGHELLO, Flávio; RANGEL, Paulo H.N.; MORAIS, Orlando P. de. Ganho de produtividade pelo melhoramento genético do arroz irrigado no nordeste do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.3, p.399-407, 1999.

BORNHOFEN, Elesandro. **Avaliação dos efeitos genéticos e ambientais na evolução do rendimento de grãos, qualidade de panificação e estabilidade de trigo**. 2015. 90 f. (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Pato Branco, 2015.

CARGNIN, Adelino; SOUZA, Moacil A. de; FRONZA, Vanoli; FOGAÇA, Cláudia M. Genetic and environmental contributions to increased wheat yield in Minas Gerais, Brazil. **Scientia Agricola**, v.66, n.3, p.317-322, mai/jun, 2009.

CHIORATO, Alisson F.; CARBONELL, Sérgio A. M.; VENCOVSKY, Roland; FONSECA JUNIOR, Nelson da S.; PINHEIRO, José B. Genetic gain in the breeding program of common beans at IAC from 1989 to 2007. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.10, p.329-336, 2010.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos 2014/2015**. Décimo segundo levantamento. Setembro/2015. Brasília, p. 1-134, 2015.

COSTA, Marcelo M.; DI MAURO, Antônio O.; UNÊDA-TREVISOLI, Sandra H., ARRIEL, Nair H.C.; BÁRBARO, Ivana M.; MUNIZ, Franco R.S. Ganho genético por diferentes critérios de seleção em populações segregantes de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.11, p.1095-1102, 2004.

DOVALE, Júlio C.; SOARES, Plínio C.; CORNÉLIO, Vanda M.O.; REIS, Moisés S.; BORGES, Vanderley; BISI, Rayane B.; SOARES, Antônio A.;FRITSCHÉ-NETO, Roberto. Contribuição genética na produtividade do arroz irrigado em Minas Gerais no período de 1998 a 2010. **Bragantia**, Campinas, v. 71, n. 4, p.460-466, 2012.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Tecnologias de Produção de Soja**. A Soja no Brasil. Sistema de Produção, No 1. 2004. Disponível em: <<http://www.cnpso.Embrapa.br/producaosoja/SojanoBrasil.htm>>. Acesso em: 04 Jun. 2012.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Soja. **Diferentes usos do grão**. Disponível em: <<https://www.Embrapa.br/soja/cultivos/soja1/soja-na-alimentacao>>. Acesso em: 16 Jun. 2015.

FARIA, Anderson P.; FONSECA JÚNIOR, Nelson da S.; DESTRO, Dionísio; FARIA, Ricardo T. Ganho Genético na Cultura da Soja. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 28, n. 1, p. 71-78, jan./mar. 2007.

FARIA, Luiz C. **Progresso genético do programa de melhoramento do feijoeiro-comum da Embrapa no Brasil**. 2011. 119 f. Tese (Doutorado em Agronomia: Genética e Melhoramento de Plantas) – Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011.

FONSECA JÚNIOR, Nelson da S. **Progresso genético para a produtividade do feijão no estado do Paraná no período de 1977 a 1995**. 1997. 211 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 1997.

ISAAA - International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications. **Biotech Country Facts and Trends: Brazil**. 2015. Disponível em: [http://www.isaaa.org/resources/publications/biotech\\_country\\_facts\\_and\\_trends/download/Facts%20and%20Trends%20-%20Brazil.pdf](http://www.isaaa.org/resources/publications/biotech_country_facts_and_trends/download/Facts%20and%20Trends%20-%20Brazil.pdf). Acessado em: 22 de Dezembro de 2015.

JIN, Jian; LUI, Xiaobing; WANG, Guanghua; MI, Liang; SHEN, Zhongbao; CHEN, Xueli; HERBERT, Stephen J. Agronomic and physiological contributions to the yield improvement of soybean cultivars released from 1950 to 2006 in Northeast China. **Field Crops Research**, v.115, n.1, p.166-123, 2010.

KARMAKAR, P.G.; BHATNAGAR, P.S. Genetic improvement of soybean varieties released in India from 1969 to 1993. **Euphytica**, v.90, n.1, p.95-103, 1996.

LANGE, Cláudia E.; FEDERIZZI, Luiz C. Estimation of soybean genetic progress in the south of Brazil using multienvironmental yield trials. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.66, n.3, p.309-316, mai/jun, 2009.

LIMA, Wilmar F.; PIPOLO, Antonio E.; MOREIRA, José U.V.; CARVALHO, Claudio G.P. de; PRETE, Cássio E.C.; ARIAS, Carlos A.A.; OLIVEIRA, Marcelo F. de; SOUZA, Geraldo E. de; TOLEDO, José F.F. Interação genótipo-ambiente de soja convencional e transgênica resistente a glifosato, no Estado do Paraná. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.6, p.729-736, 2008.

MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Registro Nacional de Cultivares**. Orientações e informações técnicas. Brasília, 2007. Acessado: 23 de Setembro de 2015. Disponível em: [http://www.agricultura.gov.br/arq\\_editor/file/vegetal/Sementes\\_e\\_mudas/Registro\\_Nacional\\_de\\_Cultivares.pdf](http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/vegetal/Sementes_e_mudas/Registro_Nacional_de_Cultivares.pdf)

MATOS, José W.; RAMALHO, Magno A.P.; ABREU, Ângela F.B. Trinta e dois anos do programa de melhoramento genético do feijoeiro comum em Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1749-1754, nov./dez., 2007.

MORRISON, Malcolm J.; VOLDENG, Harvey D.; COBER, Elroy R. Agronomic changes from 58 years of genetic improvement of short-season soybean cultivars in Canada. **Agronomy Journal**, vol.92, jul-ago, 2000.

MORRISON, Malcolm J.; VOLDENG, Harvey D.; COBER, Elroy R. Physiological changes from 58 years of genetic improvement of short-season soybean cultivars in Canada. **Agronomy Journal**, vol.91, no.4, p.685-689, jul, 1999.

NUNES, Helber V.; MIRANDA, Glauco V.; GALVÃO, João C.C.; SOUZA, Leandro V. de; GUIMARÃES, Lauro J.M. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de milho-pipoca por meio de dois métodos de classificação. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.1, n.3, p.78-88, 2002.

OLIVEIRA, Eder J.; GODOY, Inácio J.; MORAES, Andrea R.A.; MARTINS, Antônio L.M.; PEREIRA, José C.V.N.A.; BORTOLETTO, Nelson; KASAI, Francisco S. Adaptabilidade e estabilidade de amendoim de porte rasteiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.8, p.1253-1260, 2006.

PEREIRA, S.. A evolução do complexo soja e a questão da transgenia. **Revista de Política Agrícola**, n.2, p.29-32, 2004.

PORTO, Willyam S.; CARVALHO, Claudio G.P. de.; PINTO, Ronald J.B. Adaptabilidade e estabilidade como critérios para seleção de genótipos de girassol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.4, p.491-499, 2007.

PRIOLLI, Regina H.G.; MENDES-JUNIOR, Celso T.; SOUSA, Sandra M.B.; SOUSA, Neylson E. A.; CONTEL, Eucleia P.B. Diversidade genética da soja entre períodos e entre programas de melhoramento no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.10, p.967-975, 2004.

REIS Edésio, F.; REIS Múcio, S.; CRUZ Cosme D.; SEDIYAMA, Túneo. Comparação de procedimentos de seleção para produção de grãos em populações de soja. **Ciência Rural**, v.34, n.3, p.685-692, 2004.

RINCKER, Keith; NELSON, Randall; SPECHT, James; SLEPER, David; CARY, Troy; CIANZIO, Silvia R.; CASTEEL, Shaun; CONLEY, Shawn; CHEN, Pengyin; DAVIS, Vince; FOX, Carolyn; GRAEF, George; GODSEY, Chad; HOLSHOUSER, David; JIANG, Guo-Liang; KANTARTZI, Stella K.; KENWORTHY, William; LEE, Chad; MIAN, Rouf; MCHALE, Leah; NAEVE, Seth; ORF, James; POYSA, Vaino; SCHAPAUGH, William; SHANNON, Grover; UNIATOWSKI, Robert; WANG, Dechun; DIERS, Brian. Genetic Improvement of U.S. Soybean in Maturity Groups II, III, and IV. **Crop Science**, v.54, n.4, p.1419-1432, 2014.

RODRIGUES, Osmar; LHAMBY, Julio C.B.; DIDONET, Agostinho D.; MARCHESI, José A. Fifty years of wheat breeding in Southern Brazil: yield improvement and associated changes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.6, p.817-825, jun. 2007.

ROWNTREE, Scott C.; SUHRE, Justin J.; WEIDENBENNER, Nicholas H.; WILSON, Eric W.; DAVIS, Vince M.; NAEVE, Seth L.; CASTEEL, Shaun N.; DIERS, Brian W.; ESKER, Paul D.; SPECHT, James E.; CONLEY, Shawn P. Genetic Gain x Management Interactions in Soybean: I. Planting Date. **Crop Science**, v. 53, n.3, p.1128-1138, may-june 2013.

RUBIN, Sérgio A.L.; SANTOS, Osmar S. dos. Progresso do melhoramento genético da soja no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Brasília, v.2, p.139-147, 1996.

SOARES, Antônio A.; SANTOS, Patrícia G.; MORAIS, Orlando P. de; SOARES, Plínio C.; REIZ, Moisés de S.; SOUZA, Moacil A. de. Progresso genético obtido pelo melhoramento do arroz de sequeiro em 21 anos de pesquisa em Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.3, p.415-424, mar. 1999.

SPECHT, J.E.; HUME, D.J.; KUMUDINI, S.V. Soybean yield potential — A genetic and physiological perspective. **Crop Science**. v.39, n.6, p.1560-1570, 1999.

STORCK, Lindolfo; BISOGNIN, Dílson A.; CARGNELUTTI FILHO, Alberto. Ganho genético decorrente da substituição anual de cultivares de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.9, p.881-886, 2005.

TOLEDO, José F.F.; ALMEIDA, Leones A.; KIIHL, Romeu A.S.; MENOSSO, Orival. G. Ganho genético em soja no Estado do Paraná via melhoramento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.25, p.89-94, 1990.

TOLEDO, José F.F. de; ARIAS, Carlos A.A.; OLIVEIRA, Marcelo F. de; TRILLER, Cláudia; MIRANDA, Zilda de F.S. Genetical and environmental analyses of yield in

six biparental soybean crosses. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.9, p.1783-1796, set, 2000.

TORRES, Francisco E.; DAVID, Guilherme V.; TEODORO, Paulo E.; RIBEIRO, Larissa P.; CORREA, Caio G.; LUZ JÚNIOR, Roque A. Desempenho agrônômico e dissimilaridade genética entre genótipos de soja. **Revista de Ciências Agrárias**, v.38, n.1, p.111-117, 2015.

USTUN, Ali; ALLEN, Fred L.; ENGLISH, Burton C. Genetic Progress in Soybean of the U.S. Midsouth. **Crop Science**, v.41, p.993-998, 2001.

VENCOVSKY, R; MORAES, A.R.; GARCIA, J.C; TEIXEIRA, N.M. **Progresso genético em vinte anos de melhoramento de milho no Brasil**. Piracicaba; (s.n.), 1986, 22p.

WILSON, Eric W.; ROWNTREE, Scott C.; SUHRE, Justin J.; WEIDENBENNER, Nicholas H.; CONLEY, Shawn P.; DAVIS, Vince M.; DIERS, Brian W.; ESKER, Paul D.; NAEVE, Seth L.; SPECHT, James E.; CASTEEL Shaun N. Genetic Gain × Management Interactions in Soybean: II. Nitrogen Utilization. **Crop Science**, v.54 n. 1, p.340–348, 2014.

### 3 ARTIGO A - GANHO GENÉTICO EM SOJA CONVENCIONAL NA REGIÃO MERIDIONAL DO BRASIL ENTRE 1994 E 2001

#### 3.1 RESUMO

Os objetivos deste trabalho foram determinar e comparar o ganho genético de genótipos de soja de diferentes ciclos (precoce, semiprecoce e médio) e; determinar e comparar o ganho genético de genótipos de soja em ambientes de diferentes altitudes, desenvolvidos pelo programa de melhoramento de soja da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), entre os anos de 1994 até 2001, na região meridional do Brasil. Foram avaliados 134 genótipos (linhagens e testemunhas) de soja dos ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU), instalados em 24 locais totalizando 128 ambientes (locais de avaliação em diferentes anos). As estimativas de ganho genético foram obtidas por análise de regressão linear a partir de médias ajustadas do rendimento anual médio de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), do acamamento, da estatura média de planta (em cm), dos dias da emergência ao florescimento e dos dias da emergência à maturação fisiológica dos genótipos de soja (linhagens e testemunhas) utilizados nos ensaios de VCU. As médias ajustadas foram obtidas através da metodologia de modelos mistos, separando-se os efeitos fixos dos aleatórios. Não houve ganho genético para os caracteres rendimento de grãos, dias da emergência ao florescimento e dias da emergência à maturação, no período entre as safras de 1994/1995 e 2000/2001, independente da altitude. Considerando as altitudes conjuntamente, obteve-se ganho genético positivo de 2,70% para as notas de acamamento de genótipos de ciclo semiprecoce, e foi observado ganho genético negativo de -2,44% para estatura de planta, de genótipos de ciclo precoce, acarretando em uma redução efetiva de 2,08 cm por ano.

Palavras-chave: *Glycine max*, progresso genético, médias ajustadas.

#### 3.2 INTRODUÇÃO

O Brasil é um importante país produtor de soja no mundo, sendo que, segundo as estimativas realizadas pela Conab (2015), a produção da safra

brasileira na temporada atual (2014/15) é de aproximadamente 96,2 milhões de toneladas, representando um incremento de 11,8% em relação à safra 2013/14. Esta produção derivou de uma área colhida de aproximadamente 32 milhões de hectares com uma produtividade média de 2.999 kg ha<sup>-1</sup>, sendo que houve um incremento médio de 32,92 kg ha<sup>-1</sup> por ano na produtividade média do Brasil, entre as safras de 1976/77 e 2014/15, proporcionado principalmente pela utilização de tecnologias, emprego de genótipos de alto potencial produtivo (TORRES et al., 2015). Rowntree et al. (2013) citam que cerca de metade do ganho de rendimento em grãos da soja pode ser atribuída ao melhoramento genético.

Neste contexto, a avaliação do progresso genético, que utilizam informações obtidas em testes obrigatórios de linhagens nos programas de melhoramento, permitem o acompanhamento do ganho genético das linhagens obtidas ao longo dos anos de maneira econômica e eficiente. O ganho genético refere-se às alterações observadas nas características de interesse durante um ciclo de seleção, com a recombinação e multiplicação das unidades selecionadas. Tais modificações ocorrerão em magnitude e sentido variados, dependendo da estratégia e dos critérios de seleção adotados (REIS et al., 2004).

Com relação ao ganho genético de genótipos de soja, no Canadá, observa-se que o ganho genético foi de aproximadamente 0,5% por ano, em genótipos lançados de 1934 até 1992, sendo que o aumento do rendimento de grãos, associado aos anos de lançamento dos genótipos, está correlacionado com o aumento significativo no número de sementes por planta, aumento no índice de colheita, fotossíntese, condutância estomática e diminuição no índice de área foliar (MORRISON et al., 1999; MORRISON et al., 2000). Nos EUA, Ustun et al. (2001), avaliando o ganho genético de genótipos lançados nas décadas de 1940, 1950, 1970 e 1980, observaram um aumento linear na produtividade, ao longo do tempo (14 kg ha<sup>-1</sup> por ano), enfatizando que este aumento é fruto do progresso genético realizado pelos melhoristas de soja. Da mesma forma, Specht et al. (1999) observaram que o rendimento de grãos de soja, nos EUA, aumentou 22,6 kg ha<sup>-1</sup> por ano de 1924 a 1997, mas no período de 1972 a 1997, se elevou 40% mais rápido (31,4 kg ha<sup>-1</sup> por ano). Wilson et al. (2014) e Koester et al. (2014) observaram um aumento no rendimento de grãos de 17,2 kg ha<sup>-1</sup> por ano e 26,5 kg ha<sup>-1</sup> por ano, respectivamente.

No Brasil, diversos autores observaram ganho genético no

rendimento de grãos na soja, sendo que este oscilou de -0,28% à 3,49% ao ano, entre 1979 e 1999, considerando todos os grupos de maturação (ALLIPRANDINI et al., 1993; LANGE; FEDERIZZI, 2009; TOLEDO et al., 1990). Rubin e Santos (1996), avaliando cultivares de soja lançadas em um período de 40 anos (de 1950 a 1990), observaram que cultivares de soja proporcionaram ganho genético médio de 19 kg ha<sup>-1</sup> por ano, porém, segundo os autores, os ganhos em rendimento de grãos vem diminuindo com o decorrer do tempo, em função do alto potencial de rendimento já alcançado e da constante utilização do mesmo germoplasma básico nas hibridações. Para que o progresso genético possa ser significativamente aumentado devem ser utilizadas técnicas refinadas de melhoramento, desenvolvidas a partir do conhecimento do controle genético e do ambiente sobre a produtividade (TOLEDO et al., 2000).

O acompanhamento deste progresso fornece subsídios importantes para avaliação, planejamento e tomada de decisão das atividades do melhoramento, podendo contribuir no aumento de sua eficácia (ALLIPRANDINI et al., 1993; SOARES et al., 2005; FARIA et al., 2007; MATOS et al., 2007; FARIA, 2011; LANGE; FEDERIZZI, 2009). A existência de ganho anual remete à eficiência do programa, ao passo que a ausência de ganhos deve ser tratada com cautela e novas estratégias devem ser definidas (BORNHOFEN, 2015). A avaliação do progresso genético também permite fazer inferências comparativas entre o ganho genético de linhagens de diferentes perfis, com caracteres agrônômicos diferenciados, como por exemplo, o ciclo ou grupo de maturação, bem como o efeito do ambiente sobre o ganho genético. Essas informações permitem evidenciar a eficiência dos programas de melhoramento em fazer seleção de genótipos com um determinado perfil em detrimento a outro, sendo esse perfil baseado nas preferências do mercado consumidor.

Neste contexto, os objetivos deste trabalho são determinar e comparar o ganho genético de genótipos de soja de diferentes ciclos (precoce, semiprecoce e médio) e; determinar e comparar o ganho genético de genótipos de soja em ambientes de diferentes altitudes (ambientes acima e abaixo de 700 metros de altitude), desenvolvidos pelo programa de melhoramento de soja da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), entre os anos de 1994 até 2001 na região meridional do Brasil.

### 3.3 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado com base em dados de 134 genótipos de soja desenvolvidos pelo programa de melhoramento da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Soja, localizado em Londrina, PR. Para o cálculo do ganho genético via melhoramento genético foram utilizados os dados de rendimento de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), acamamento (notas de 1 a 5, sendo: 1: nenhuma planta acamada e; 5: todas as plantas acamadas), estatura de planta (em cm), dias da emergência ao florescimento e dias da emergência à maturação, das linhagens e cultivares padrão (testemunhas) de soja dos ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU). A cada ano as linhagens foram renovadas propiciando aos ensaios englobar o material genético mais recente produzido, bem como há a renovação das cultivares padrão (testemunhas). Os genótipos foram agrupados em três grupos de maturação: grupo precoce (até 115 dias para a maturação), grupo semiprecoce (de 116 a 125 dias para a maturação) e grupo de ciclo médio (acima de 125 dias para a maturação), de acordo com Alliprandini et al. (2009), com o intuito de padronizar os ciclos. O estudo foi constituído entre as safras de 1994/1995 a 2000/2001 em 24 locais totalizando 128 ambientes (locais de avaliação em diferentes anos), representando uma ampla gama de ambientes de cultivo de soja, descritos na Figura 3.

As parcelas experimentais foram constituídas por quatro fileiras de 5 metros de comprimento, espaçadas por 0,45 metros, usando-se como área útil duas fileiras centrais, com eliminação de 0,50 m em cada extremidade das mesmas, a título de bordadura. O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados (DBC), com quatro repetições, tendo como fatores principais: anos de avaliação (1994/95, 1995/96, 1996/97, 1997/98, 1998/99, 1999/00, 2000/01), locais, ciclo (genótipos de ciclo precoce, semiprecoce ou médio) e genótipos. Na ocasião da colheita, foi avaliado o rendimento de grãos (RG), em  $\text{kg ha}^{-1}$ . Para a mensuração do rendimento de grãos foi realizada a pesagem do total de grãos produzidos pelas plantas, na unidade experimental, extrapolando para um hectare, sendo a umidade corrigida para 13%.

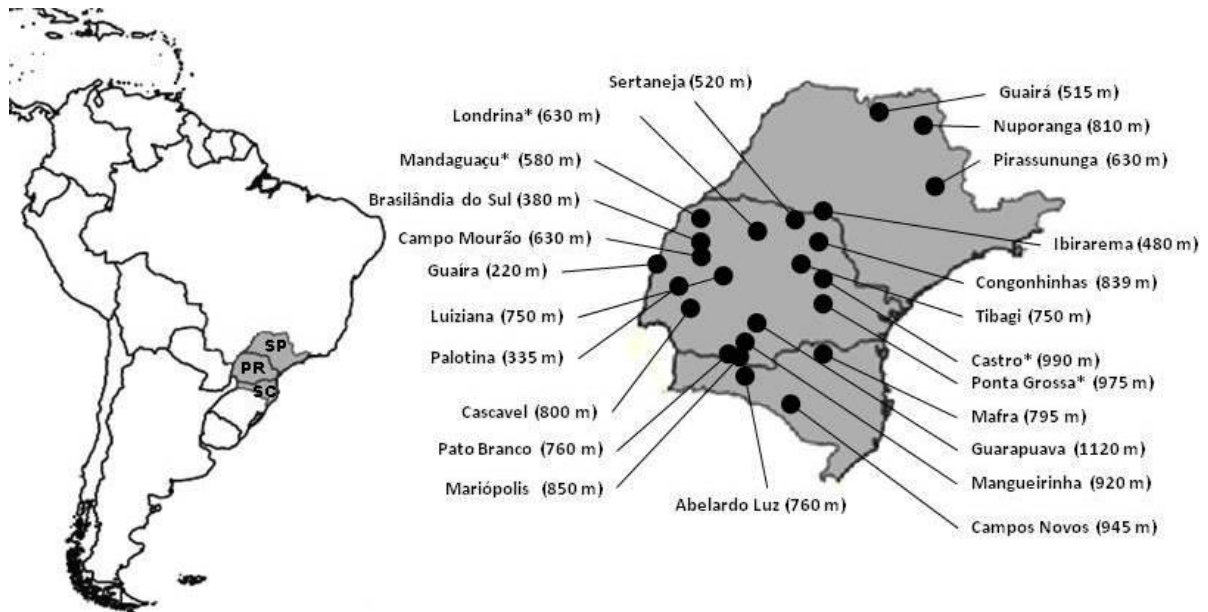


Figura 3. Distribuição dos locais dos ensaios de VCU na região meridional do Brasil, no período entre as safras de 1994/95 e 2000/01. \*Ambientes com dois ensaios no mesmo ano de avaliação.

Os dados obtidos foram submetidos ao teste de homogeneidade das variâncias de Hartley e de normalidade das médias de Shapiro-Wilk, a 5% de probabilidade de erro para ambos. Em seguida, os dados foram submetidos à análise de variância conjunta, considerando anos e locais como fatores aleatórios, e genótipos como fatores fixos, em esquema fatorial. A utilização da análise conjunta foi possível para os ensaios onde a relação entre o maior e o menor quadrado médio do resíduo dos anos de avaliação ( $QMr+/QMr-$ ) foi inferior a sete (Anexos A1 a A13). Foram retirados os ensaios com média de rendimento de grãos inferior a  $2000 \text{ Kg ha}^{-1}$  e com coeficiente de variação acima de 20%, por se tratar de experimentos com baixa precisão experimental.

As estimativas de ganho genético foram obtidas por análise de regressão linear a partir de médias ajustadas do rendimento anual médio de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), do acamamento, da estatura média de planta (em cm), dos dias da emergência ao florescimento e dos dias da emergência à maturação fisiológica dos genótipos de soja (linhagens e testemunhas) utilizados nos ensaios de VCU, baseados na metodologia proposta por Fonseca Junior (1997), onde as médias ajustadas foram obtidas pela estimação dos efeitos dos genótipos segundo o modelo:

$Y_{ijk} = \mu + g_i + a_j + ga_{ij} + r_{k(j)} + e_{ijk}$ , onde:  $Y_{ijk}$ : valor observado do tratamento genético  $i$ , no ambiente  $j$ , na repetição  $k$ ;  $\mu$ : é a média geral;  $g_i$ : é a média do tratamento genético  $i$  ( $i=1, 2, \dots, g$ );  $a_j$ : é o efeito aleatório do ambiente  $j$  ( $j=1, 2, \dots, a$ );  $ga_{ij}$ : efeito aleatório da interação entre o tratamento  $i$  e o ambiente  $j$ ;  $r_{k(j)}$ : é o efeito aleatório da repetição  $k$  dentro do ambiente  $j$  ( $k=1, 2, \dots, r$ ) e;  $e_{ijk}$ : é o erro experimental associado a parcela  $ijk$ .

A fim de obter as médias ajustadas, a metodologia utilizada baseou-se em modelos mistos, separando-se os efeitos fixos dos aleatórios como indicado por Martins et al. (1993), onde  $Y = X\beta + ZU + E$ , sendo:  $Y$ : vetor dos dados observados;  $X$ : matriz conhecida de incidência dos efeitos fixos;  $\beta$ : vetor desconhecido dos parâmetros de efeitos fixos;  $Z$ : matriz conhecida de incidência dos efeitos aleatórios;  $U$ : vetor desconhecido dos parâmetros de efeitos aleatórios e;  $E$ : vetor dos erros aleatórios. O modelo considera que  $U$  e  $E$  não são correlacionados com esperança matemática zero:

$$E \begin{bmatrix} U \\ E \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

e variâncias  $G$  e  $R$  respectivamente, a saber:

$$\text{Var} \begin{bmatrix} U \\ E \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G & 0 \\ 0 & R \end{bmatrix}$$

Sendo:  $G$ : matriz de variâncias e covariâncias dos efeitos aleatórios presentes no vetor  $U$  e;  $R$ : matriz de variâncias e covariâncias residuais;

A matriz  $G$  é uma matriz quadrada, que neste trabalho será composta pelos componentes de variância dos fatores aleatórios do modelo (anos e locais), dispostos na diagonal, com os demais termos iguais a zero. Cada componente de variância estava presente em  $n$  células da matriz  $G$ , sendo  $n$  o número de níveis do respectivo fator. Por sua vez, a matriz  $R$ , também quadrada, com o número de linhas e colunas igual ao número de observações, será composta pelo componente de variância do erro experimental na diagonal, sendo os outros termos iguais a zero.

A variância de  $Y$  (vetor das observações) representada pela matriz  $V$ , será obtida mediante a expressão matricial:

$$\text{Var}(Y) = V = ZGZ' + R$$

Sendo  $Z$  a matriz conhecida de incidência dos efeitos aleatórios;  $G$ : matriz desconhecida de variâncias e covariâncias dos efeitos aleatórios presentes no vetor  $U$ ;  $Z'$ : matriz  $Z$  transposta e  $R$ : matriz desconhecida de variâncias e covariâncias residuais.

Para se obter as estimativas dos parâmetros do modelo, é necessário conhecer todas as matrizes, inclusive  $G$  e  $R$ , que são compostas pelos componentes de variâncias. Para tanto, se utilizou o método REML de estimação de componentes de variância. Este procedimento permite tornar conhecidas as matrizes  $G$  e  $R$  e por sua vez  $V$ , podendo se estabelecer as equações MM de Henderson et al. (1959):

$$\begin{bmatrix} X'R^{-1}X & X'R^{-1}Z \\ Z'R^{-1}X & X'R^{-1}Z + G^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta \\ U \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X'R^{-1}Y \\ Z'R^{-1}Y \end{bmatrix}$$

Cuja resolução fornece as estimativas dos efeitos fixos ( $\beta$ ) e aleatórios ( $U$ ) do modelo:

$$\hat{\beta} = (X'V^{-1}X)^{-1}X'V^{-1}Y$$

$$\hat{U} = GZ'V^{-1}r$$

Sendo:

$$r = Y - X\beta$$

De acordo com o modelo proposto por Henderson et al (1959),  $\beta$  é o melhor estimador linear não viesado ("BLUE" – Best Linear Unbiased Estimator) que é a estimativa dos efeitos fixos do modelo misto e  $\hat{U}$  é o melhor preditor linear não viesado ("BLUP" – Best Linear Unbiased Predictor), para os fatores aleatórios do modelo. No presente trabalho, como os tratamentos genéticos serão considerados fixos, se concentrará maior atenção na estimação dos "BLUEs" desses tratamentos. Uma vez obtidos os BLUEs, serão estimadas as médias ajustadas, adicionando-se os BLUEs à constante ( $\mu$ ) do modelo misto. A estimativa da variância de  $\beta$ , neste caso BLUE, é obtida por:

$$\hat{V}(\hat{\beta}) = (X'V^{-1}X)^{-1}$$

Para se obter as estimativas das médias ajustadas utilizou-se o programa SAS, através da rotina PROC MIXED (SAS, 2001). As médias aritméticas anuais dos genótipos novos e das testemunhas foram calculadas a partir das médias ajustadas, em seguida, foram submetidas a análise de regressão linear para estimar o ganho genético médio anual. As análises de regressão foram realizadas utilizando o software SAS, empregando a rotina PROC REG (SAS, 2001). A estimativa do ganho genético médio anual em porcentagem foi obtida por:

$$\hat{g}(\%) = \frac{\hat{b}_g}{\hat{a}_n} 100$$

Sendo:  $b_g$ : estimativa do coeficiente angular da equação de regressão linear, relativa ao ganho genético em função dos anos e;  $\hat{a}_n$ : estimativa do intercepto ou coeficiente linear da equação de regressão linear, relativa à média ajustada dos genótipos novos em função dos anos.

A significância da estimativa de ganho genético médio anual foi testada através do teste F, testando-se o Quadrado Médio da Regressão Linear com o Quadrado Médio dos Desvios da Regressão, respectivamente com 1 e A-2 graus de liberdade, sendo A o número total de anos. Para os testes da significância dos parâmetros da equação utilizou-se o teste t. Os cálculos das estimativas de ganho genético representados por porcentagem, de acordo com a equação anterior, tem utilizado o ponto de intercepto linear a partir da análise de regressão. Segundo Chiorato et al. (2010), é importante fornecer detalhes sobre esses cálculos uma vez que os métodos que estimam o ganho genético usando dados experimentais originais geralmente empregam os genótipos significativos, no primeiro ano, o que faz com que o método seja dependente dos genótipos com potencial de rendimento no primeiro ano. Entretanto, para métodos que utilizam os resultados ponderados das médias de rendimento, o ganho genético é influenciado pelo desempenho dos genótipos testemunha, uma vez que o ganho é calculado pela média ponderada geral em função das cultivares utilizadas como testemunha. Métodos de regressão, especialmente aqueles que usam médias ajustadas, fornecem as estimativas mais próximas da média da população hipotética inicial, a qual não foi submetida a análise, principalmente devido ao fato do coeficiente linear ( $\hat{a}_n$ ) referir-se ao valor previsto pela regressão linear para todos os genótipos no primeiro ano de avaliação (ano zero).

O ganho genético foi estimado para os seguintes fatores: Ciclo dos genótipos (precoce, semiprecoce e médio) e ambientes (total de ambientes, ambientes acima de 700 metros de altitude e ambientes abaixo de 700 metros de altitude). Como o número de genótipos nos ensaios é variável e de um ano para outro há a introdução de novas linhagens, também, foi calculada a taxa de seleção de genótipos. A taxa de seleção de genótipos é dada pela relação entre a média do número de genótipos novos e a média do número total de tratamentos multiplicada por 100, considerada para cada ano estudado.

### 3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a Tabela 1, as médias dos caracteres foram de 3287,5; 1,83; 79,79; 52,74 e 118,72 para rendimento de grãos (RG), acamamento (AC), estatura de planta (EP), dias da emergência ao florescimento (DEF) e dias da emergência a maturação (DEM), respectivamente. Da mesma forma, o número médio de tratamentos foram de 28,7, 23,0, 27,2, 27,3 e 27,3 para RG, AC, EP, DEF e DEM, respectivamente. A maior amplitude de tratamentos foi observada para o caractere RG, que variaram de 16 a 38. Os coeficientes de variação (C.V.), foram de médios a baixo, para a grande maioria dos caracteres variaram entre 1,21 (DEM) e 11,48 (RG), com exceção de AC, onde o C.V. foi de 26,60, considerado alto. O limite máximo de coeficiente de variação aceitável para produtividade e para estatura de planta é de 16% e 12%, respectivamente (CARVALHO et al., 2003).

A análise de variância conjunta das safras (1994/95, 1995/96, 1996/97, 1997/98, 1998/99, 1999/00, 2000/01) indicou diferença significativa dos fatores principais Ano, Altitude e Ciclo, para todos os caracteres avaliados, com exceção apenas para efeito da Altitude sobre o AC (Tabela 2). A resposta diferencial de genótipos de soja de diferentes ciclos observadas nesse trabalho estão em desacordo com Lange e Federizzi (2009), que avaliando genótipos de soja provenientes de ensaios conduzidos entre as safras de 1979/80 e 1998/99, não observaram diferenças significativas de rendimento de grãos entre os genótipos de grupos de maturação distintos. Os efeitos da interação Ano e Altitude foram significativos a 1% de probabilidade, para todos os caracteres, o que indica, que os efeitos das combinações entre Ano e Altitude (local) são importantes para o

desempenho produtivo da soja (LIMA et al. 2008). A interação tripla entre Ano, Altitude e Ciclo foi significativa para todos os caracteres, indicando que os genótipos de diferentes ciclos respondem de forma diferenciada às variações do ambiente.

Com relação aos ganhos genéticos das médias ajustadas dos caracteres avaliados, não foi detectado ganho genético para os caracteres RG, DEF e DEM, para os genótipos de diferentes ciclos e diferentes ambientes, no período entre as safras de 1994/1995 a 2000/2001 (Tabelas 3 e 4). Esta constatação está em desacordo com diversos autores, que observaram ganho genético significativo no rendimento de grãos na soja, oscilando de -0,28% à 3,49% ao ano, entre 1979 e 1999, considerando todos os grupos de maturação (ALLIPRANDINI et al., 1993; LANGE; FEDERIZZI, 2009; MORRISON et al., 1999; MORRISON et al., 2000; TOLEDO et al., 1990). Ustun et al. (2001), avaliando o ganho genético de genótipos lançados nas décadas de 1940, 1950, 1970 e 1980, observaram um aumento linear na produtividade, ao longo do tempo ( $14 \text{ kg ha}^{-1}$  por ano), bem como decréscimo de 10 dias nos DEM de cinco cultivares de soja dos Grupos de maturação IV e V. Specht et al. (1999) observaram que o rendimento de grãos de soja, nos EUA, subiram  $22,6 \text{ kg ha}^{-1}$  por ano de 1924 a 1997. Por outro lado, Rubin e Santos (1996), observaram que cultivares de soja proporcionaram ganho genético médio de  $19 \text{ kg ha}^{-1}$  por ano, entre 1950 e 1990, porém, os ganhos em rendimento de grãos vem diminuindo com o decorrer do tempo, em função do alto potencial de rendimento já alcançado e da constante utilização do mesmo germoplasma básico nas hibridações. Koester et al. (2014), avaliando 24 cultivares de soja lançadas entre 1923 e 2007, por dois anos, em ensaios de campo, observaram um aumento no rendimento de grãos de  $26,5 \text{ kg ha}^{-1}$  por ano, impulsionado por melhorias fisiológicas na interceptação de luz pelo dossel da cultura da soja, conversão da energia luminosa em biomassa e translocação da energia da biomassa para os grãos. Rincker et al. (2014), com o objetivo de quantificar as alterações genéticas no rendimento de grãos e demais característica agronômicas durante o período de 80 anos (entre 1923 e 2008) de melhoramento de soja, na América do Norte (EUA e Canadá), para os grupos de maturidade (GM) II, III, e IV, observaram um ganho genético de  $23 \text{ kg ha}^{-1}$  por ano para GMs II e III, e  $20 \text{ kg ha}^{-1}$  por ano para cultivares do GM IV, sendo que cultivares modernas apresentaram maiores rendimento de grãos comparadas com cultivares antigas, particularmente em ambientes de alto rendimento.

Em contra partida, e com resultados semelhantes aos obtidos neste trabalho, Lange e Federizzi (2009), comparando os ganhos genéticos obtidos em três grupos de maturação (precoce, médio e tardio) e em quatro regiões de cultivo do Estado do Rio Grande do Sul, obtiveram ganhos estimados que variaram de zero a 71,5 kg ha<sup>-1</sup> por ano (3,49% ao ano), dependendo do grupo de maturação e da região. Os autores não detectaram avanço genético para o grupo precoce em nenhuma das quatro regiões, inferindo que os esforços dos programas de melhoramento genético não refletiram de forma equivalente entre os grupos de maturação e não beneficiaram igualmente as regiões produtoras, indicando que os objetivos do melhoramento de soja no Estado devem ser reavaliados.

A análise de regressão possibilitou observar ganhos genéticos significativos para AC de genótipos novos de ciclo semiprecoce e EP de genótipos novos de ciclo precoce, para todos os ambientes avaliados (Tabela 3). O ganhos genéticos efetivo e relativos significativos, para AC, foram de 0,04 e 2,70%, respectivamente. Em contra partida, Jin et al. (2010), avaliando 45 cultivares representativas lançadas entre 1950 e 2006, observaram uma redução na estatura de plantas, conferindo maior resistência dos genótipos ao acamamento, com uma queda das notas de 3,2, em 1950, para 1,0 em 2006, totalizando uma redução de 0,04 por ano.

Neste trabalho, também foi possível observar ganho genético efetivo e relativo negativos, para EP, de -2,08 e -2,44%, respectivamente (Tabela 3). Estes resultados mostram que houve uma redução de 2,08 cm por ano na estatura de planta dos genótipos novos entre 1994 e 2001. Em trabalho realizado por Ustun et al. (2001), avaliando o ganho genético de genótipos lançados nas décadas de 1940 (linhas ancestrais), 1950, 1970 e 1980, observaram que o melhoramento genético resultou na redução da estatura da planta e menor acamamento dos genótipos de soja. Da mesma forma, Morrison et al. (1999), observaram que cultivares mais novas apresentam maior estabilidade fenotípica para estatura de plantas em comparação com cultivares mais antigas.

Os ganhos genéticos negativos obtidos podem parecer indicar que a seleção dos genótipos que compõem o ensaio de VCU poderia ser aperfeiçoada, ou alternativamente, que a metodologia proposta necessita de adequação (TOLEDO et al, 1990). Porém, o ganho genético negativo obtido para EP era previamente esperado, em função dos programas de melhoramento, como é o caso do programa

de melhoramento de soja da Embrapa, preconizarem a redução da estatura, por estar correlacionada significativamente com o acamamento, que por sua vez está inversamente correlacionado produtividade da cultura da soja (PANTHEE et al, 2007).

Programas de melhoramento necessitam ser dinâmicos, renovando constantemente as linhagens em fase final de teste (VCU). O número de genótipos avaliados no período entre as safras de 1994/95 e 2000/01 (Tabela 5), no ensaio de VCU, variou entre 16 e 35, tendo um número médio de 27,3 genótipos. Entretanto, o número médio de testemunhas foi de 7,7, com uma amplitude entre dois e 23. O número de genótipos novos variou entre 10 e 28 e o número de genótipos mantidos, de uma safra a outra, entre zero e seis. Desta forma, a taxa média de seleção de genótipos (TSG) foi de 19,4%, apresentando variação ao longo do tempo.

É importante salientar que, mesmo o ganho genético não sendo significativo no período avaliado, foi possível identificar genótipos promissores, com alto potencial produtivo e características agronômicas desejáveis para ser lançados como cultivares comerciais, como pode-se observar na Tabela 6. Dentro desse grupo cabe destacar as cultivares Embrapa 48, BRS 133 e BRS 184 que alcançaram significativa área de plantio e as cultivares BRS 155, BRS 213, BRS 216 que possuem características especiais para alimentação humana e cujo foco não foi o rendimento de grãos, conforme informado Pípolo<sup>1</sup> (2015). Este fato reflete a importância do conhecimento teórico e prático no que diz respeito a avaliação e seleção de genótipos promissores, proporcionando o lançamento de novos cultivares e disponibilizando para cultivo pelos produtores.

A metodologia para estimar o ganho genético empregada neste trabalho é eficiente, do ponto de vista estatístico, uma vez que o ganho é estimado a partir das médias ajustadas e corrigido mediante o auxílio de testemunha comum em todos os experimentos. Desta forma, utiliza-se a produtividade da testemunha como covariável da produtividade dos demais genótipos, obtendo-se médias ajustadas, livres do efeito ambiental (FARIA et al., 2007). Entretanto, os ganhos estimados neste trabalho podem ser diferentes dos vivenciados pelos produtores rurais, uma vez que nem todas as linhagens experimentais que geraram os dados do presente

---

<sup>1</sup> Entrevista concedida pelo engenheiro agrônomo Dr. Antônio Eduardo Pípolo, da Embrapa-CNPSo, Londrina (PR), ao engenheiro agrônomo M.Sc. Eduardo Stefani\_Pagliosa, em 01.12.2015.

estudo foram lançadas comercialmente (LANGE; FEDERIZZI, 2009). Neste caso, pode-se avaliar os genótipos lançados e representativos de um determinado período de tempo, pois representam uma amostra real dos ganhos obtidos pelos produtores, como é o caso dos trabalhos desenvolvidos por Jin et al. (2010), Koester et al. (2014), Rogers et al. (2015), Rowntree et al. (2013), Wilson et al. (2014), dentre outros. Porém, através desta metodologia, onde se seleciona os melhores genótipos e/ou os genótipos que apresentaram área de cultivo significativa, pode-se superestimar os ganhos, uma vez que se excluem da análise os genótipos lançados que não progrediram.

### 3.5 CONCLUSÃO

Não foi detectado ganho genético para os caracteres rendimento de grãos, dias da emergência ao florescimento e dias da emergência à maturação, no período entre as safras de 1994/1995 e 2000/2001, independente da altitude.

Considerando as altitudes conjuntamente, obteve-se ganho genético positivo de 2,70% para as notas de acamamento de genótipos de ciclo semiprecoce, no período entre as safras de 1994/1995 e 2000/2001, e obteve-se ganho genético negativo de -2,44% para estatura de planta, de genótipos de ciclo precoce, acarretando em uma redução efetiva de 2,08 cm por ano.

### 3.6 REFERÊNCIAS

ALLIPRANDINI, Luís F.; ABATTI, Claudiomir; BERTAGNOLLI, Paulo F.; CAVASSIM, José E.; GABE, Howard L; KUREK, Andreomar; MATSUMOTO, Marcos N.; OLIVEIRA, Marco A.R.; PITOL, Carlos; PRADO, Luís C.; STECKLING, Cleiton. Understanding Soybean Maturity Groups in Brazil: Environment, Cultivar Classification, and Stability. **Crop Science**, v.49, p.801-808, May–June, 2009.

ALIPRANDINI, Luíz, F.; TOLEDO, José, F.F. de; FONSECA JR. Nelson S.; KIIHL, Romeu A. de S.; ALMEIDA, Leones A. de Ganho genético em soja no Estado do Paraná, via melhoramento, no período de 1985/86 a 1989/90. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.28, n.4, p.489-497, abr. 1993.

BRESEGHELLO, Flávio; RANGEL, Paulo H.N.; MORAIS, Orlando P. de. Ganho de produtividade pelo melhoramento genético do arroz irrigado no nordeste do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.3, p.399-407, 1999.

BORNHOFEN, Elesandro. **Avaliação dos efeitos genéticos e ambientais na evolução do rendimento de grãos, qualidade de panificação e estabilidade de trigo**. 2015. 90 f. (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Pato Branco, 2015.

CARVALHO, Claudio G.P.; ARIAS, Carlos A.A.; TOLEDO, José F.F.; ALMEIDA, Leones A.; KIIHL, Romeu A.S.; OLIVEIRA, Marcelo F.; HIROMOTO, Dario M.; TAKEDA, Claudio. Proposta de classificação dos coeficientes de variação em relação à produtividade e altura da planta de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.2, p.187-193, fev. 2003.

CHIORATO, Alisson F.; CARBONELL, Sérgio A. M.; VENCOVSKY, Roland; FONSECA JUNIOR, Nelson da S.; PINHEIRO, José B. Genetic gain in the breeding program of common beans at IAC from 1989 to 2007. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, vol.10, p.329-336, 2010.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos 2014/2015**. Décimo segundo levantamento. Setembro/2015. Brasília, p. 1-134, 2015.

FARIA, Anderson P.; FONSECA JÚNIOR, Nelson da S.; DESTRO, Dionísio; FARIA, Ricardo T. Ganho Genético na Cultura da Soja. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 28, n. 1, p. 71-78, jan./mar, 2007.

FARIA, Luiz C. **Progresso genético do programa de melhoramento do feijoeiro-comum da Embrapa no Brasil**. 2011. 119 f. Tese (Doutorado em Agronomia: Genética e Melhoramento de Plantas) – Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011.

FONSECA JÚNIOR, Nelson da S. **Progresso genético para a produtividade do feijão no estado do Paraná no período de 1977 a 1995**. 1997. 211 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 1997.

HENDERSON, C.R.; KEMPTHORNE, O.; SEARLE, S.R.; KROSIGK, C.M. The estimation of environmental and genetic trends from records subject to culling. **Biometrics**, v.15, n.2, p.192-218, 1959.

JIN, Jian; LUI, Xiaobing; WANG, Guanghua; MI, Liang; SHEN, Zhongbao; CHEN, Xueli; HERBERT, Stephen J. Agronomic and physiological contributions to the yield improvement of soybean cultivars released from 1950 to 2006 in Northeast China. **Field Crops Research**, v.115, n.1, p.166-123, 2010.

KOESTER, Robert P.; SKONECZKA, Jeffrey A.; CARY, Troy R.; DIERS, Brian W.; AINSWORTH, Elizabeth A. Historical gains in soybean (*Glycine max* Merr.) seed yield are driven by linear increases in light interception, energy conversion, and partitioning efficiencies. **Journal of Experimental Botany**, v.65, n.12, p.3311–3321, 2014.

LANGE, Cláudia E.; FEDERIZZI, Luiz C. Estimation of soybean genetic progress in the south of Brazil using multienvironmental yield trials. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.66, n.3, p.309-316, mai/jun, 2009.

MARTINS, E.N.; LOPES, P.S.; SILVA, M.A.; REGAZZI, A.J. **Modelo linear misto**. Viçosa: UFV, 1993. 46p.

MATOS, José W.; RAMALHO, Magno A.P.; ABREU, Ângela F.B. Trinta e dois anos do programa de melhoramento genético do feijoeiro comum em Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1749-1754, nov./dez., 2007.

MORRISON, Malcolm J.; VOLDENG, Harvey D.; COBER, Elroy R. Agronomic changes from 58 years of genetic improvement of short-season soybean cultivars in Canada. **Agronomy Journal**, v.92, n.4, p.780-784, 2000.

MORRISON, Malcolm J.; VOLDENG, Harvey D.; COBER, Elroy R. Physiological changes from 58 years of genetic improvement of short-season soybean cultivars in Canada. **Agronomy Journal**, v.91, n.4, p.685-689, 1999.

PANTHEE, D.R.; PANTALONE, V.R.; SAXTON, A.M.; WEST, D.R.; SAMS, C.E. Quantitative trait loci for agronomic traits in soybean. **Plant Breeding**, n.126, p.51-57, 2007.

REIS, Edésio F.; REIS, Múcio S.; CRUZ, Cosme D.; SEDIYAMA, Tuneo. Comparação de procedimentos de seleção para produção de grãos em populações de soja. **Ciência Rural**, v.34, n.3, p.685-692, 2004.

RINCKER, Keith; NELSON, Randall; SPECHT, James; SLEPER, David; CARY, Troy; CIANZIO, Silvia R.; CASTEEL, Shaun; CONLEY, Shawn; CHEN, Pengyin; DAVIS, Vince; FOX, Carolyn; GRAEF, George; GODSEY, Chad; HOLSHOUSER, David; JIANG, Guo-Liang; KANTARTZI, Stella K.; KENWORTHY, William; LEE, Chad; MIAN, Rouf; MCHALE, Leah; NAEVE, Seth; ORF, James; POYSA, Vaino; SCHAPAUGH, William; SHANNON, Grover; UNIATOWSKI, Robert; WANG, Dechun; DIERS, Brian. Genetic Improvement of U.S. Soybean in Maturity Groups II, III, and IV. **Crop Science**, v.54, n.4, p.1419-1432, 2014.

ROGERS, Justin; CHEN, Pengyin; SHI, Ainong, ZHANG, Bo; SCABOO, Andrew; SMITH, Faye S.; ZENG, Ailan. Agronomic performance and genetic progress of selected historical soybean varieties in the southern USA. **Plant Breeding**, n.134, v.1, p.85-93, 2015.

ROWNTREE, S.C.; SUHRE, J.J.; WEIDENBENNER, N.H.; WILSON, E.W.; DAVIS, V.M.; NAEVE, S.L.; CASTEEL, S.N; DIERS, B.W.; ESKER, P.D.; SPECHT, J.E.; CONLEY, S.P. Genetic Gain x Management Interactions in Soybean: I. Planting Date. **Crop Science**, v.53, n.3, p.1128-1138, 2013.

RUBIN, Sérgio A.L.; SANTOS, Osmar S. dos. Progresso do melhoramento genético da soja no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Brasília, v.2, p.139-147, 1996.

SAS - Statistical Analysis Sistem. **SAS/STAT user's guide**. SAS Institute, Cary, 1028p. 2001.

SOARES, Plínio S.; MELO, Patrícia G. S.; MELO, Leonardo C.; SOARES, Antônio A. Genetic gain in an improvement program of irrigated rice in Minas Gerais. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, n.5, p.142-148, 2005.

SPECHT, J.E.; HUME, D.J.; KUMUDINI, S.V. Soybean yield potential — A genetic and physiological perspective. **Crop Science**. v.39, n.6, p.1560-1570. nov, 1999.

TOLEDO, José F.F.; ALMEIDA, Leones A.; KIIHL, Romeu A.S.; MENOSSO, Orival. G. Ganho genético em soja no Estado do Paraná via melhoramento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.25, p.89-94, 1990.

TOLEDO, José F.F. de; ARIAS, Carlos A.A.; OLIVEIRA, Marcelo F. de; TRILLER, Cláudia; MIRANDA, Zilda de F.S. Genetical and environmental analyses of yield in six biparental soybean crosses. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.9, p.1783-1796, set, 2000.

TORRES, Francisco E.; DAVID, Guilherme V.; TEODORO, Paulo E.; RIBEIRO, Larissa P.; CORREA, Caio G.; LUZ JÚNIOR, Roque A. Desempenho agrônômico e dissimilaridade genética entre genótipos de soja. **Revista de Ciências Agrárias**, v.38, n.1, p. 111-117, 2015.

USTUN, Ali; ALLEN, Fred L.; ENGLISH, Burton C. Genetic Progress in Soybean of the U.S. Midsouth. **Crop Science**, v.41, p.993-998, 2001.

WILSON, Eric W.; ROWNTREE, Scott C.; SUHRE, Justin J.; WEIDENBENNER, Nicholas H.; CONLEY, Shawn P.; DAVIS, Vince M.; DIERS, Brian W.; ESKER, Paul D.; NAEVE, Seth L.; SPECHT, James E.; CASTEEL Shaun N. Genetic Gain x Management Interactions in Soybean: II. Nitrogen Utilization. **Crop Science**, v.54 n. 1, p.340–348, 2014.

Tabela 1. Valores médios, mínimos (Min) e máximos (Max) dos caracteres rendimento de grãos (RG), acamamento (AC), estatura de planta (EP), dias da emergência ao florescimento (DEF) e dias da emergência a maturação (DEM) dos ensaios; do coeficiente de variação (C.V.); do número de tratamentos por ano e do número de experimentos por ano; do número de experimentos e; do número total de parcelas dos ensaios no total de ambientes avaliados, na região meridional do Brasil.

		<b>RG</b>	<b>AC</b>	<b>EP</b>	<b>DEF</b>	<b>DEM</b>
Caracteres	Média	3287,5	1,83	79,79	52,74	118,72
	Min-Max	2523,22 - 3979,50	1,69 - 2,06	71,44 - 86,59	48,02 - 55,78	115,21 - 121,53
C.V. (%)	Média	11,48	26,60	7,83	3,55	1,21
	Min-Max	9,7 - 12,6	22,6 - 29,9	7,05 - 8,66	2,31 - 8,46	0,95 - 2,09
Nº de tratamentos por ano	Média	28,7	23,0	27,2	27,3	27,3
	Min-Max	16 - 38	16 - 32	16 - 35	16 - 35	16 - 35
Nº de experimentos por ano	Média	7,29	9,00	15,50	11,29	10,14
	Min-Max	3 - 14	2 - 17	5 - 31	4 - 16	4 - 19
Nº de experimentos		51	36	93	79	71
Nº de parcelas		3128	2224	5759	4792	4360

Tabela 2. Análise de variância dos caracteres rendimento de grãos (RG), acamamento (AC), estatura de planta (EP), dias da emergência ao florescimento (DEF) e dias da emergência a maturação (DEM) de genótipos de soja convencional, de diferentes ciclos (precoce, semiprecoce e médio), no período de 1994 a 2001, do programa de melhoramento de soja da Embrapa, na região meridional do Brasil.

Fontes de Variação	RG		AC		EP		DEF		DEM	
	G.L.	F.	G.L.	F.	G.L.	F.	G.L.	F.	G.L.	F.
Ano	6	418,98** <sup>1</sup>	3	78,55**	5	31,65**	6	185,12**	6	232,70**
Altitude	1	370,76**	1	1,01 <sup>NS</sup>	1	24,83**	1	4336,03**	1	607,92**
Ciclo	2	7,41**	2	438,72**	2	172,77**	2	1001,28**	2	1525,37**
Genótipo	133	2,58**	70	5,54**	117	4,98**	133	5,86**	133	3,53**
Ano x Altitude	6	102,56**	3	31,82**	5	110,44**	6	131,54**	6	10,62**
Ano x Ciclo	12	20,78**	6	6,50**	10	13,20**	12	83,99**	12	60,48**
Altitude x Ciclo	2	19,39**	2	52,23**	2	14,77**	2	181,77**	2	18,09**
Ano x Altitude x Ciclo	10	14,43**	4	2,96**	8	16,53**	10	148,34**	10	1,53 <sup>NS</sup>

<sup>1</sup>: <sup>NS</sup>, \*, \*\*: Não significativo, significativo a 5 e a 1% de significância de erro pelo teste F, respectivamente. G.L.: Graus de Liberdade; F.: Valor calculado para teste F.

Tabela 3. Estimativas do ganho genético e regressões das médias ajustadas para os caracteres rendimento de grãos (RG), acamamento (AC) e estatura de planta (EP), de genótipos de soja convencional, de diferentes ciclos, no total dos ambientes avaliados, ambientes acima e abaixo de 700 metros, no período de 1994 a 2001, do programa de melhoramento de soja da Embrapa, na região meridional do Brasil.

CICLO	TOTAL DE AMBIENTES														
	RG (Kg ha <sup>-1</sup> )					AC (nota)					EP (cm)				
	NO	Regressão linear	R <sup>2</sup>	GA	GR (%)	NO	Regressão linear	R <sup>2</sup>	GA	GR (%)	NO	Regressão linear	R <sup>2</sup>	GA	GR (%)
Precoce	5	Y= 3152,48* - 36,91x <sup>1</sup>	0,59 <sup>2</sup>			4	Y= 1,67* - 0,01x <sup>1</sup>	0,06 <sup>2</sup>			4	Y= 85,36** - 2,08x <sup>1</sup>	0,99 <sup>2</sup>	-2,08	-2,44
Semiprecoce	6	Y= 3102,26** + 29,50x	0,26			3	Y= 1,48** + 0,04x*	0,99*	0,04	2,70	5	Y= 84,61** - 0,58x	0,01		
Médio	3	Y= 3300,18 + 21,91x	0,03			1	Y= 1,52				2	Y= 118,32			
<b>AMBIENTES ACIMA DE 700 METROS</b>															
Precoce	5	Y= 2999,28** - 42,73x	0,96			4	Y= 1,67* + 0,12x	0,11			4	Y= 86,45* - 2,12x	0,87		
Semiprecoce	6	Y= 3006,73** + 22,02x	0,15			3	Y= 1,59** - 0,003x	0,24			5	Y= 84,15** - 0,10x	0,24		
Médio	3	Y= 3083,75 + 41,45x	0,12			1	Y= 1,68				2	Y= 131,99			
<b>AMBIENTES ABAIXO DE 700 METROS</b>															
Precoce	5	Y= 3433,08* - 61,26x	0,40			4	Y= 1,61* - 0,05x	0,45			4	Y= 84,61* - 2,37x	0,84		
Semiprecoce	6	Y= 3247,23** + 37,60x	0,25			3	Y= 1,27** + 0,10x	0,94			5	Y= 85,58** - 1,31x	0,38		
Médio	3	Y= 3577,72 + 10,13x	0,008			1	Y= 1,33				2	Y= 106,37			

<sup>1</sup>Para regressões: \*, \*\*: Significativo a 5 e a 1% de significância de erro pelo teste t, respectivamente; <sup>2</sup>Para R<sup>2</sup>: \*, \*\*: Significativo a 5 e a 1% de significância de erro pelo teste F, respectivamente. NO: Número de observações; GA: Ganho genético absoluto; GR: Ganho genético relativo, em porcentagem.

Tabela 4. Estimativas do ganho genético e regressões das médias ajustadas para os caracteres dias da emergência ao florescimento (DEF) e dias da emergência á maturação (DEM) de genótipos de soja convencional, de diferentes ciclos, no total dos ambientes avaliados, ambientes acima e abaixo de 700 metros, no período de 1994 a 2001, do programa de melhoramento de soja da Embrapa, na região meridional do Brasil.

Ciclo	TOTAL DE AMBIENTES									
	DEF					DEM				
	NO	Regressão linear	R <sup>2</sup>	GA	GR (%)	NO	Regressão linear	R <sup>2</sup>	GA	GR (%)
Precoce	5	Y= 55,19* - 1,13x <sup>1</sup>	0,76 <sup>2</sup>			5	y= 118,04* + 0,03x <sup>1</sup>	0,00 <sup>2</sup>		
Semiprecoce	6	Y= 55,66** - 0,31x	0,08			6	y= 120,95** - 0,29x	0,12		
Médio	3	Y= 54,99* + 0,38x	0,12			3	Y= 127,09* - 0,72x	0,67		
AMBIENTES ACIMA DE 700 METROS										
Precoce	5	Y= 59,71* - 0,79x	0,67			5	Y= 120,85* - 0,13x	0,00		
Semiprecoce	6	Y= 60,09** - 0,008x	0,00			6	Y= 124,56** - 0,52x	0,31		
Médio	3	Y= 59,65* + 0,29x	0,07			3	Y= 129,71** - 0,54x	0,97		
AMBIENTES ABAIXO DE 700 METROS										
Precoce	2	Y= 49,72				5	Y= 114,10* + 0,36x	0,16		
Semiprecoce	6	Y= 49,73** - 0,43x	0,27			6	Y= 116,78** - 0,34x	0,13		
Médio	3	Y= 47,34* + 0,68x	0,37			3	Y= 123,06* - 0,77x	0,36		

<sup>1</sup>Para regressões: \*, \*\*: Significativo a 5 e a 1% de significância de erro pelo teste t, respectivamente; <sup>2</sup>Para R<sup>2</sup>: \*, \*\*: Significativo a 5 e a 1% de significância de erro pelo teste F, respectivamente. NO: Número de observações; GA: Ganho genético absoluto; GR: Ganho genético relativo, em porcentagem.

Tabela 5. Taxa de seleção de genótipos de soja do ensaio de VCU da Embrapa, entre as safras 1994/95 e 2000/01, na região meridional do Brasil.

Safra	TG <sup>1</sup>	TEST	GN	GM	TSG (%)
1994/1995	32	4	28	0	-
1995/1996	28	4	20	4	20
1996/1997	16	2	14	0	0
1997/1998	16	2	11	3	27
1998/1999	32	8	22	2	9
1999/2000	32	11	15	6	40
2000/2001	35	23	10	2	20
<b>Média</b>	<b>27.3</b>	<b>7.7</b>	<b>17.1</b>	<b>2.4</b>	<b>19.4</b>

<sup>1</sup>: TG: Total de genótipos; TEST: Testemunhas; GN: Genótipos novos; GM: Genótipos mantidos; TSG (%):Taxa de seleção de genótipos, em porcentagem.

Tabela 6. Relação do nome das linhagens que se tornaram cultivares e seus respectivos anos de lançamento, entre os anos de 1995 e 2001.

Ano de lançamento	Nome da cultivar	Nome da linhagem	Ano de lançamento	Nome da cultivar	Nome da linhagem
1995	Embrapa 48	CAC/BR87-15	1998	BRS 155	BRM92-5297
1996	Embrapa 58	BR90-4428	1998	BRS 156	BR92-10422
1996	Embrapa 59	BR90-5825	1998	BRS 157	BR91-8548
1996	Embrapa 60	BR90-5807	2001	BRS 183	BR94-4150
1996	Embrapa 61	BR90-5895	2001	BRS 184	BR94-9682
1996	Embrapa 62	BR88-9703	2001	BRS 185	BR94-11861
1997	BRS 132	BR91-9272	2001	BRS 212	BR95-7613
1997	BRS 133	BR91-12418	2001	BRS 213	BR96-25337
1997	BRS 134	BR91-6445	2001	BRS 214	BR96-18710
1997	BRS 135	BR91-8794	2001	BRS 215	BR96-16185
1997	BRS 136	BR91-11649	2001	BRS 216	BRM95-51635

## 4 ARTIGO B - GANHO GENÉTICO EM SOJA CONVENCIONAL E TRANSGÊNICA NA REGIÃO MERIDIONAL DO BRASIL ENTRE 2001 E 2014

### 4.1 RESUMO

Os objetivos deste trabalho foram determinar e comparar o ganho genético de genótipos de soja de diferentes ciclos (precoce, semiprecoce e médio); de genótipos de soja convencional e transgênicas e; em ambientes de diferentes altitudes, desenvolvidos pelo programa de melhoramento de soja da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), entre os anos de 2001 até 2014, na região meridional do Brasil. Foram avaliados 622 genótipos (linhagens e testemunhas) de soja nos ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU). O estudo foi constituído entre as safras de 2001/2002 a 2013/2014 em 43 locais totalizando 683 ambientes (locais de avaliação em diferentes anos). As estimativas de ganho genético foram obtidas por análise de regressão linear a partir de médias ajustadas do rendimento anual médio de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), do acamamento, da estatura média de planta (em cm), dos dias da emergência a maturação e dos dias da emergência à maturação fisiológica dos genótipos de soja (linhagens e testemunhas) utilizados nos ensaios de VCUs. As médias ajustadas foram obtidas através da metodologia de modelos mistos, separando-se os efeitos fixos dos aleatórios. Não houve ganho genético para os caracteres rendimento de grãos, acamamento, estatura de planta, dias da emergência ao florescimento e dias da emergência à maturação, no período entre as safras de 2001/02 e 2013/14, para genótipos de soja convencional, independente da altitude e do grupo de maturação dos genótipos. Houve ganho genético para todos os caracteres avaliados para genótipos de soja transgênica variando em função da altitude dos ambientes de avaliação e dos grupos de maturação. Cultivares transgênicas apresentavam rendimento médio abaixo dos genótipos convencionais no início do período de avaliação (safra 2002/03), porém, em ambientes acima e abaixo de 700 metros de altura os genótipos convencionais e transgênicos apresentaram RG médio equivalente por volta da safra 2009/10 e 2010/11, respectivamente, após estas safras, os RG dos genótipos transgênicos se tornaram superiores. Mesmo não havendo ganho genético significativo para genótipos convencionais, foi possível identificar linhagens promissoras, do programa

de melhoramento de soja da Embrapa, que foram lançadas como cultivares de alto potencial produtivo e com caracteres agronômicos desejáveis.

Palavras-chave: *Glycine max*. Progresso genético, Transgênico, Médias ajustadas, Modelos mistos.

## 4.2 INTRODUÇÃO

O Brasil é um importante país produtor de soja no mundo, segundo a Conab (2015), a produção da safra brasileira na safra 2014/15 foi de aproximadamente 96,2 milhões de toneladas, em uma área de 32 milhões de hectares, sendo que houve um incremento médio de 32,92 kg ha<sup>-1</sup> por ano na produtividade média do Brasil, entre as safras de 1976/77 e 2014/15, proporcionado principalmente pela utilização de tecnologias, emprego de genótipos de alto potencial produtivo (TORRES et al., 2015). No ano de 2014, a soja geneticamente modificada (GM) ocupou uma área de 29,1 milhões de hectares, do total de 31,2 milhões de hectares cultivados com soja no Brasil, contra 26,9 milhões de hectares, em 2013, o equivalente a um crescimento de 7,9% com uma taxa de adoção média de 93,2% da área plantada. A maior taxa de adoção, por região, foi na região Sul com 94,7%, seguido pela Sudeste (94,3%) e 94,2% na Centro-Oeste. Taxas elevadas de adoção fazem do Brasil o segundo maior produtor de cultivos geneticamente modificados do mundo (ISAAA, 2015).

Neste contexto, a avaliação do progresso genético, que utilizam informações obtidas em testes obrigatórios de linhagens nos programas de melhoramento, permitem o acompanhamento do ganho genético das linhagens obtidas ao longo dos anos de maneira econômica e eficiente. O ganho genético refere-se às alterações observadas nas características de interesse durante um ciclo de seleção (REIS et al., 2004).

Nos EUA, Ustun et al. (2001), observaram um aumento linear na produtividade de 14 kg ha<sup>-1</sup> por ano em genótipos lançados nas décadas de 1940, 1950, 1970 e 1980. Specht et al. (1999) observaram que o rendimento de grãos de soja, aumentou 22,6 kg ha<sup>-1</sup> por ano de 1924 a 1997, mas no período de 1972 a 1997, se elevou 40% mais rápido (31,4 kg ha<sup>-1</sup> por ano). Wilson et al. (2014) e Koester et al. (2014) observaram um aumento no rendimento de grãos de 17,2 kg

ha<sup>-1</sup> por ano e 26,5 kg ha<sup>-1</sup> por ano, respectivamente. Na Índia, Karmakar e Bhatnagar (1996), avaliaram três cultivares de soja representativas dos cultivares lançados no período entre 1969 e 1993, obtiveram ganho genético de 22 kg ha<sup>-1</sup> por ano. No Brasil, diversos autores observaram ganho genético no rendimento de grãos na soja, sendo que este oscilou de -0,28% à 3,49% ao ano, entre 1979 e 1999, considerando todos os grupos de maturação (ALLIPRANDINI et al., 1993; LANGE; FEDERIZZI, 2009; TOLEDO et al., 1990). De modo geral, o ganho obtido no rendimento de grãos, no passar do tempo, está correlacionado com o aumento significativo no número de sementes por planta, aumento no índice de colheita, interceptação de luz, conversão da energia luminosa em biomassa, condutância estomática e diminuição no índice de área foliar (KOESTER et al., 2014; MORRISON et al., 1999; MORRISON et al., 2000) e manejo cultural (ROWNTREE et al., 2013; WILSON et al., 2014).

Desta forma, o acompanhamento do progresso genético fornece subsídios importantes para avaliação, planejamento e tomada de decisão das atividades do melhoramento, podendo contribuir no aumento de sua eficácia (ALLIPRANDINI et al., 1993; SOARES et al., 2005; FARIA et al., 2007; MATOS et al., 2007; FARIA, 2011; LANGE; FEDERIZZI, 2009). A existência de ganho anual remete à eficiência do programa, ao passo que a ausência de ganhos deve ser tratada com cautela e novas estratégias devem ser definidas (BORNHOFEN, 2015). A avaliação do progresso genético também permite fazer inferências comparativas entre o ganho genético de linhagens de diferentes perfis, com caracteres agrônômicos diferenciados, uma vez que, o ganho genético pode ser variável em função do ciclo ou grupo de maturação e do tipo agrônômico (convencionais ou transgênicos), como observado por Rincker et al. (2013), onde o ganho genético foi de 23 kg ha<sup>-1</sup> por ano para cultivares de soja dos grupos de maturação II e III, e 20 kg ha<sup>-1</sup> por ano para cultivares do grupo de maturação IV, lançadas em um período de 80 anos (entre 1923 e 2008), nos EUA e Canadá. Em contra partida, Lima et al. (2008) avaliaram a produtividade e a adaptação de genótipos de soja convencional e soja transgênica resistente ao herbicida glifosato (RR), de diferentes grupos de maturação, e não observaram diferença significativa no desempenho produtivo entre a soja convencional e a transgênica, independentemente do grupo de maturação.

Nesse contexto, os objetivos deste trabalho foram determinar e comparar o ganho genético de genótipos de soja de diferentes ciclos (precoce,

semiprecoce e médio); de genótipos de soja convencional e transgênicas e; em ambientes de diferentes altitudes (ambientes acima e abaixo de 700 metros de altitude), desenvolvidos pelo programa de melhoramento de soja da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), entre os anos de 2001 até 2014, na região meridional do Brasil.

#### 4.3 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado com base em dados de 622 genótipos de soja convencionais e transgênicos (resistentes ao glifosato) desenvolvidos pelo programa de melhoramento da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Soja, localizado em Londrina, PR. Para o cálculo do ganho genético via melhoramento genético foram utilizados os dados de rendimento de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), acamamento (notas de 1: nenhuma planta acamada a 5: todas as plantas acamadas), estatura de planta (em cm), dias da emergência ao florescimento e dias da emergência a maturação, das linhagens e cultivares padrão (testemunhas) de soja dos ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU). A cada ano as linhagens foram renovadas propiciando aos ensaios englobar o material genético mais recente produzido, bem como há a renovação dos cultivares padrão (testemunhas). Os genótipos foram agrupados em três grupos de maturação: grupo precoce (até 115 dias para a maturação), grupo semiprecoce (de 116 a 125 dias para a maturação) e grupo de ciclo médio (acima de 125 dias para a maturação), de acordo com Alliprandini et al. (2009), com o intuito de padronizar os ciclos. O estudo foi constituído entre as safras de 2001/2002 e 2013/2014 em 43 locais totalizando 683 ambientes (locais de avaliação em diferentes anos), representando uma ampla gama de ambientes de cultivo de soja, descritos na Figura 4.

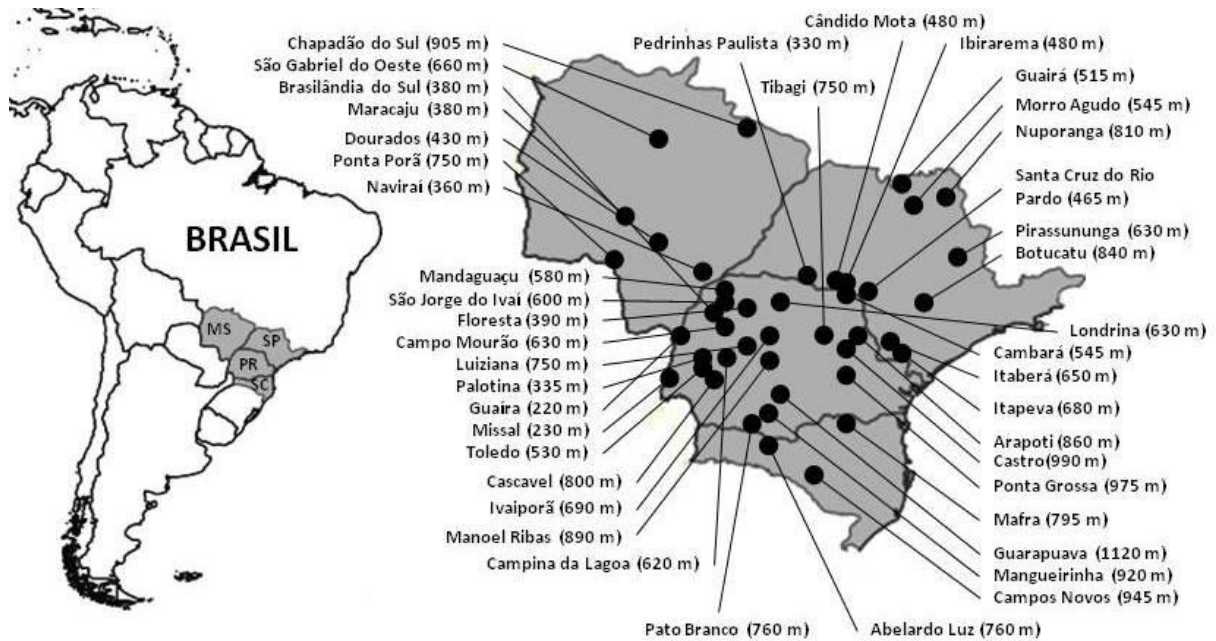


Figura 4. Distribuição dos locais dos ensaios de VCU na região meridional do Brasil, no período entre as safras de 2001/02 e 2013/14.

As parcelas experimentais foram constituídas por quatro fileiras de 5 metros de comprimento, espaçadas por 0,45 metros, usando-se como área útil duas fileiras centrais, com eliminação de 0,50 m em cada extremidade das mesmas, a título de bordadura. O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados (DBC), com quatro repetições, tendo como fatores principais: anos de avaliação (2001/02, 2002/03, 2003/04, 2004/05, 2005/06, 2006/07, 2007/08, 2008/09, 2009/10, 2010/11, 2011/12, 2012/13 e 2013/14), Altitude (ambientes acima e abaixo de 700 metros de altitude), ciclo (genótipos de ciclo precoce, semiprecoce ou médio), tipo agrônômico (genótipos convencionais ou transgênicos) e genótipos. Na ocasião da colheita, foi avaliado o rendimento de grãos (RG), em  $\text{kg ha}^{-1}$ . Para a mensuração do RG foi realizada a pesagem do total de grãos produzidos pelas plantas, na unidade experimental, extrapolando para um hectare, sendo a umidade corrigida para 13%.

Os dados obtidos foram submetidos ao teste de homogeneidade das variâncias de Hartley e de normalidade das médias de Shapiro-Wilk, a 5% de probabilidade de erro para ambos. Os dados foram submetidos à análise de variância conjunta, considerando anos e locais como fatores aleatórios, e genótipos como fatores fixos, em esquema fatorial. A utilização da análise conjunta foi possível

para os ensaios onde a relação entre o maior e o menor quadrado médio do resíduo dos anos de avaliação (QMr+/QMr-) foi inferior a sete (Anexos B1 a B15). Foram retirados os ensaios com média de rendimento de grãos inferior a 2000 Kg ha<sup>-1</sup> e com coeficiente de variação acima de 20%, por se tratar de experimentos com baixa precisão experimental.

As estimativas de ganho genético foram obtidas por análise de regressão linear a partir de médias ajustadas do rendimento anual médio de grãos (kg ha<sup>-1</sup>), do acamamento, da estatura média de planta (em cm), dos dias da emergência ao florescimento e dos dias da emergência à maturação dos genótipos de soja (linhagens e testemunhas) utilizados nos ensaios de VCU, baseados na metodologia proposta por Fonseca Junior (1997). Onde as médias ajustadas foram obtidas pela estimação dos efeitos dos genótipos segundo o modelo:

$Y_{ijk} = \mu + g_i + a_j + g_{aj} + r_{k(j)} + e_{ijk}$ , onde:  $Y_{ijk}$ : valor observado do tratamento genético  $i$ , no ambiente  $j$ , na repetição  $k$ ;  $\mu$ : é a média geral;  $g_i$ : é a média do tratamento genético  $i$  ( $i=1, 2, \dots, g$ );  $a_j$ : é o efeito aleatório do ambiente  $j$  ( $j=1, 2, \dots, a$ );  $g_{aj}$ : efeito aleatório da interação entre o tratamento  $i$  e o ambiente  $j$ ;  $r_{k(j)}$ : é o efeito aleatório da repetição  $k$  dentro do ambiente  $j$  ( $k=1, 2, \dots, r$ ) e;  $e_{ijk}$ : é o erro experimental associado a parcela  $ijk$ .

A fim de obter as médias ajustadas, a metodologia utilizada baseou-se em modelos mistos, separando-se os efeitos fixos dos aleatórios como indicado por Martins et al. (1993), onde  $Y = X\beta + ZU + E$ , sendo:  $Y$ : vetor dos dados observados;  $X$ : matriz conhecida de incidência dos efeitos fixos;  $b$ : vetor desconhecido dos parâmetros de efeitos fixos;  $Z$ : matriz conhecida de incidência dos efeitos aleatórios;  $U$ : vetor desconhecido dos parâmetros de efeitos aleatórios e;  $E$ : vetor dos erros aleatórios. O modelo considera que  $U$  e  $E$  não são correlacionados com esperança matemática zero:

$$E \begin{bmatrix} U \\ E \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

e variâncias  $G$  e  $R$  respectivamente, a saber:

$$\text{Var} \begin{bmatrix} U \\ E \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G & 0 \\ 0 & R \end{bmatrix}$$

Sendo:  $G$ : matriz de variâncias e covariâncias dos efeitos aleatórios presentes no vetor  $U$  e;  $R$ : matriz de variâncias e covariâncias residuais;

A matriz  $G$  é uma matriz quadrada, que neste trabalho será composta pelos componentes de variância dos fatores aleatórios do modelo, dispostos na diagonal, com os demais termos iguais a zero. Cada componente de variância estava presente em  $n$  células da matriz  $G$ , sendo  $n$  o número de níveis do respectivo fator. Por sua vez, a matriz  $R$ , também quadrada, com o número de linhas e colunas igual ao número de observações, será composta pelo componente de variância do erro experimental na diagonal, sendo os outros termos iguais a zero.

A variância de  $Y$  (vetor das observações) representada pela matriz  $V$ , será obtida mediante a expressão matricial:

$$\text{Var}(Y) = V = ZGZ' + R$$

Sendo:  $Z$ : matriz conhecida de incidência dos efeitos aleatórios;  $G$ : matriz desconhecida de variâncias e covariâncias dos efeitos aleatórios presentes no vetor  $U$ ;  $Z'$ : matriz  $Z$  transposta e;  $R$ : matriz desconhecida de variâncias e covariâncias residuais.

Para se obter as estimativas dos parâmetros do modelo, é necessário conhecer todas as matrizes, inclusive  $G$  e  $R$ , que são compostas pelos componentes de variâncias. Para tanto, se utilizará o método REML de estimação de componentes de variância. Este procedimento permite tornar conhecidas as matrizes  $G$  e  $R$  e por sua vez  $V$ , podendo se estabelecer as equações MM de Henderson et al. (1959):

$$\begin{bmatrix} X'R^{-1}X & X'R^{-1}Z \\ Z'R^{-1}X & X'R^{-1}Z + G^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta \\ U \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X'R^{-1}Y \\ Z'R^{-1}Y \end{bmatrix}$$

Cuja resolução fornece as estimativas dos efeitos fixos ( $\beta$ ) e aleatórios ( $U$ ) do modelo:

$$\hat{\beta} = (X'V^{-1}X)^{-1}X'V^{-1}Y$$

$$\hat{U} = GZ'V^{-1}r$$

Sendo:

$$r = Y - X\beta$$

De acordo com o modelo proposto por Henderson et al (1959),  $\beta$  é o melhor estimador linear não viesado ("BLUE" – Best Linear Unbiased Estimator) que é a estimativa dos efeitos fixos do modelo misto e  $\hat{U}$  é o melhor preditor linear não viesado ("BLUP" – Best Linear Unbiased Predictor), para os fatores aleatórios do modelo. No presente trabalho, como os tratamentos genéticos serão considerados fixos, se concentrará maior atenção na estimação dos "BLUEs" desses tratamentos. Uma vez obtidos os BLUEs, serão estimadas as médias ajustadas, adicionando-se os BLUEs à constante ( $\mu$ ) do modelo misto. A estimativa da variância de  $\beta$ , neste caso BLUE, é obtida por:

$$\hat{V}(\hat{\beta}) = (X'V^{-1}X)^{-1}$$

Para se obter as estimativas das médias ajustadas utilizou -se o programa SAS, através da rotina PROC MIXED (SAS, 2001). As médias aritméticas anuais dos genótipos novos e das testemunhas foram calculadas a partir das médias ajustadas, em seguida, foram submetidas a análise de regressão linear para estimar o ganho genético médio anual. As análises de regressão foram realizadas utilizando o software SAS, empregando a rotina PROC REG (SAS, 2001). A estimativa do ganho genético médio anual em porcentagem foi obtida por:

$$\hat{g}(\%) = \frac{\hat{b}_g}{\hat{a}_n} 100$$

Sendo:  $b_g$ : estimativa do coeficiente angular da equação de regressão linear, relativa ao ganho genético em função dos anos e;  $\hat{a}_n$ : estimativa do intercepto ou coeficiente linear da equação de regressão linear, relativa à média anual dos genótipos novos em função dos anos.

A significância da estimativa de ganho genético médio anual foi obtida através do teste F, testando-se o Quadrado Médio da Regressão Linear com o Quadrado Médio dos Desvios da Regressão, respectivamente com 1 e A-2 graus de liberdade, sendo A o número total de anos. Para os testes da significância dos parâmetros da equação utilizou-se o teste t. Os cálculos das estimativas de ganho genético representados por porcentagem, de acordo com a equação anterior, tem utilizado o ponto de intersepto linear a partir da análise de regressão. Segundo Chiorato et al. (2010), é importante fornecer detalhes sobre esses cálculos uma vez que os métodos que estimam o ganho genético usando dados experimentais

originais geralmente empregam os genótipos significativos, no primeiro ano, o que faz com que o método seja dependente dos genótipos com potencial de rendimento no primeiro ano. Entretanto, para métodos que utilizam os resultados ponderados das médias de rendimento, o ganho genético é influenciado pelo desempenho dos genótipos testemunha, uma vez que o ganho é calculado pela média ponderada geral em função das cultivares utilizadas como testemunha. Métodos de regressão, especialmente aqueles que usam médias ajustadas, fornecem as estimativas mais próximas da média da população hipotética inicial, a qual não foi submetida a análise, principalmente devido ao fato do coeficiente linear ( $\hat{a}_n$ ) referir-se ao valor previsto pela regressão linear para todos os genótipos no primeiro ano de avaliação (zero).

O ganho genético foi estimado para os seguintes fatores: Ciclo dos genótipos (precoce, semiprecoce e médio) e ambientes (total de ambientes, ambientes acima de 700 metros de altitude e ambientes abaixo de 700 metros de altitude). Como o número de genótipos nos ensaios é variável e de um ano para outro há a introdução de novas linhagens, também, foi calculada a taxa de substituição de genótipos. A taxa de substituição de genótipos é dada pela relação entre a média do número de genótipos novos e a média do número total de tratamentos multiplicada por 100, considerada para cada ano estudado.

#### 4.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a Tabela 7 e 8, as médias dos caracteres foram de 3439,60, 1,95, 88,10, 47,58 e 120,61 para rendimento de grãos (RG), acamamento (AC), estatura de planta (EP), dias da emergência ao florescimento (DEF) e dias da emergência a maturação (DEM), respectivamente, para genótipos convencionais. Por outro lado, para genótipos transgênicos as médias dos caracteres foram de 3313,30, 1,97, 87,69, 49,79 e 120,58 para RG, AC, EP, DEF e DEM, respectivamente. Os coeficientes de variação (C.V.), foram médios a baixo, para a grande maioria dos caracteres variaram entre 1,52 (DEM) e 12,80 (RG), com exceção de AC, onde o C.V. foi de 27,11 e 25,63, considerado alto. O limite máximo de coeficiente de variação aceitável para produtividade é de 16% (CARVALHO et al., 2003).

A análise de variância conjunta das safras (2001/02, 2002/03, 2003/04, 2004/05, 2005/06, 2006/07, 2007/08, 2008/09, 2009/10, 2010/11, 2011/12, 2012/13 e 2013/14) indicou diferença significativa dos fatores principais ano, altitude, ciclo, tipo agrônômico e genótipo, para todos os caracteres avaliados (Tabela 9). A resposta diferencial de genótipos de soja de diferentes ciclos observadas nesse trabalho estão em desacordo com Lange e Federizzi (2009), que não observaram diferenças significativas de rendimento de grãos entre os genótipos de grupos de maturação distintos. A interação quádrupla entre Ano, Altitude, Ciclo e Tipo foi significativa a 1% de probabilidade de erro para todos os caracteres, indicando que os genótipos de diferentes ciclos e tipos respondem de forma diferenciada às variações do ambiente, refletindo em ganho genético diferencial dos genótipos dependendo do tipo agrônômico, ciclo de maturação e ambiente de avaliação. Lima et al. (2008) não observaram significância para o fator principal tipo (linhagens de soja convencional e transgênica), em diferentes ciclos de maturação, desenvolvidas pelo Programa de Melhoramento Genético da Embrapa Soja, no Estado do Paraná, entre as safras agrícolas de 2001/02 a 2004/05, justificando que, embora o programa de desenvolvimento da soja transgênica seja recente, em comparação ao da soja convencional, a similaridade entre as médias ocorreu provavelmente em razão do método de melhoramento adotado pela Embrapa Soja, que introduziu o gene de resistência ao herbicida, por retrocruzamento, nas melhores cultivares comerciais. Entretanto, os autores observaram interação tripla significativa entre tipo, ano e local para os dois grupos de maturação (semiprecoce e médio), o que indica que as linhagens convencionais e transgênicas responderam de forma diferenciada às variações do ambiente.

Com relação aos ganhos genéticos das médias ajustadas dos caracteres avaliados, não foi possível observar ganho genético significativos para nenhum dos caracteres, para os genótipos convencionais de diferentes ciclos e diferentes ambientes, no período entre as safras de 2002/02 e 2013/14 (Tabelas 10, 11, 12, 13 e 14). Esta constatação está em desacordo com diversos autores, que observaram ganho genético significativo na cultura da soja, oscilando de -0,28% à 3,49% (ALLIPRANDINI et al., 1993; MORRISON et al., 1999; MORRISON et al., 2000; TOLEDO et al., 1990). Lange e Federizzi (2009), comparando os ganhos genéticos obtidos em genótipos de soja convencional de três grupos de maturação (precoce, médio e tardio) e em quatro regiões de cultivo do Estado do Rio Grande do

Sul, obtiveram ganhos estimados que variaram de zero a 71,5 kg ha<sup>-1</sup> por ano (3,49% ao ano), dependendo do grupo de maturação e da região. Os autores não detectaram avanço genético para o grupo precoce em nenhuma das quatro regiões, inferindo que os esforços dos programas de melhoramento genético não refletiram de forma equivalente entre os grupos de maturação e não beneficiaram igualmente as regiões produtoras, indicando que os objetivos do melhoramento de soja no Estado devem ser reavaliados.

Nos EUA, Ustun et al. (2001), Specht et al. (1999) e Koester et al. (2014) observaram um aumento linear no rendimento de grãos de soja de 14 kg ha<sup>-1</sup> por ano, 22,6 kg ha<sup>-1</sup> por ano e 26,5 kg ha<sup>-1</sup> por ano, respectivamente, para cultivares lançadas entre 1923 a 2007, sendo que o ganho genético foi impulsionado por melhorias fisiológicas na interceptação de luz pelo dossel da cultura da soja, conversão da energia luminosa em biomassa e translocação da energia da biomassa para os grãos. Da mesma forma, Rubin e Santos (1996), observaram que cultivares de soja proporcionaram ganho genético médio de 19 kg ha<sup>-1</sup> por ano, entre 1950 e 1990. Os autores relatam que os ganhos em rendimento de grãos vem diminuindo com o decorrer do tempo, em função do alto potencial de rendimento já alcançado e da constante utilização do mesmo germoplasma básico nas hibridações.

Entretanto, quando avalia-se os ganhos genéticos da soja transgênica, observa-se progresso significativo e diferencial, do ponto de vista do ambiente de avaliação e do ciclo de maturação dos genótipos (Tabela 10). O ganhos genéticos efetivo e relativos significativos, para RG, foram de 59,38 Kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e 2,03%, 44,50 Kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e 1,47% e, 64,34 Kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e 2,20%, respectivamente para os genótipos de ciclo precoce, semiprecoce e médio, em ambientes acima de 700 metros de altitude. Por outro lado, em ambientes abaixo de 700 metros de altitude, os ganhos genéticos efetivo e relativos foram de 45,99 Kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e 1,61%, 58,37 Kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e 2,07% e, 84,32 Kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e 3,25%, respectivamente para os genótipos de ciclo precoce, semiprecoce e médio. Rincker et al. (2014), avaliando as alterações genéticas no rendimento de grãos e demais característica agrônômicas de genótipos lançados entre 1923 e 2008, para os grupos de maturidade (GM) II, III, e IV, observaram um ganho genético de 23 kg ha<sup>-1</sup> por ano para GM II e III, e 20 kg ha<sup>-1</sup> por ano para cultivares do GM IV, sendo que cultivares modernas apresentaram maiores rendimento de grãos comparadas com cultivares

antigas, particularmente em ambientes de alto rendimento. Wilson et al. (2014), avaliaram cultivares de soja lançadas entre 1923 e 2008 para os GMs II e III, observaram acréscimos no rendimento médio de grãos de  $17,2 \text{ kg ha}^{-1}$  para o total de genótipos.

Como citado anteriormente, observaram-se ganhos genéticos significativos e positivos no RG para os genótipos de soja transgênica (Tabela 10), porém a real visualização do acréscimo no RG médio pode ser observado nas análises de regressão linear, descritas nas Figuras 5 e 6. De modo geral, as cultivares transgênicas apresentavam rendimento médio abaixo dos genótipos convencionais no início do período de avaliação (safra 2002/03), porém, em ambientes acima de 700 metros de altura os genótipos convencionais e transgênicos apresentaram RG médio equivalente por volta da safra 2009/10, após esta safra, em média, os RG dos genótipos transgênicos se tornaram superiores. Por outro lado, ambientes abaixo de 700 metros de altura, a equivalência entre os rendimentos médios de genótipos convencionais e transgênicos se deu na safra de 2010/11. Do ponto de vista da comparação entre ganho genético de genótipos convencionais e transgênicos, ambos deveriam apresentar resposta similar, como observado por McCann et al. (2005), que após avaliar cultivares convencionais e soja transgênica tolerante ao glifosato, entre as safras 2000 e 2002, observaram rendimento de grãos equivalentes. A mesma equivalência RG entre genótipos transgênicos e convencionais foi observada por Zhou et al. (2011), entre as safras de 2007/08 e 2008/09, no Brasil. Porém, o RG superior observado nos genótipos transgênicos, se deu nas safras posteriores aquelas avaliadas pelos autores em questão, evidenciando que o processo de melhoramento das linhagens de soja transgênica estava em curso e seus resultados foram detectados nas safras posteriores a 2009/10. Outro ponto a ser considerado é o conjunto de dados avaliados, que por ser oriundo dos ensaio de VCU da Embrapa, cujo foco é lançamento de cultivares estáveis, resistente a doenças e produtivas, e por uma questão de demanda de mercado por cultivares transgênicas, pode ter dado mais ênfase na seleção de genótipos transgênicos, conseqüentemente elevando suas produtividades médias e posteriormente se sobressaindo em comparação a genótipos convencionais.

A análise de regressão possibilitou observar ganhos genéticos significativos para AC de genótipos transgênicos de ciclo semiprecoce para ambientes abaixo de 700 metros de altitude (Tabela 11). O ganhos genéticos efetivo

e relativos significativos, para AC, foram de 0,076 e 8,35%, respectivamente. Para EP (Tabela 12), os genótipos transgênicos apresentaram ganho genético similar e não significativo para o ciclo médio, nos ambientes acima e abaixo de 700 metros de altitude. Por outro lado, genótipos transgênicos de ciclo semiprecoce, em ambientes acima de 700 metros de altitude, de ciclos precoce e semiprecoce, em ambientes abaixo de 700 metros, apresentaram ganhos genéticos efetivos e relativos significativos de 1,70 cm ano<sup>-1</sup> e 1,96%, 1,93 cm ano<sup>-1</sup> e 1,14%, e 3,15 cm ano<sup>-1</sup> e 1,35%, respectivamente. Este aumento na estatura de planta deve-se a substituição gradativa dos genótipo de ciclo determinado por indeterminado. A soja de ciclo indeterminado possuem apenas inflorescência axilar, sendo que a gema apical mantêm o crescimento vegetativo após o florescimento, em contra partida nos genótipos de soja de ciclo determinado o crescimento vegetativo quase cessa após o florescimento, podendo crescer até 10% da altura final (NOGUEIRA et al., 2009).

Em desacordo com os resultados obtidos neste trabalho, Jin et al. (2010), avaliando 45 cultivares representativas lançadas entre 1950 e 2006, observaram redução na estatura de plantas, conferindo maior resistência dos genótipos ao acamamento, com uma queda das notas de 3,2, em 1950, para 1,0 em 2006, totalizando uma redução de 0,04 por ano. Da mesma forma, Ustun et al. (2001) e Morrison et al. (1999) observaram redução da estatura da planta dos genótipos de soja, com o passar do tempo, sendo que, cultivares mais novas apresentam maior estabilidade fenotípica para estatura de plantas em comparação com cultivares mais antigas.

Para DEF (Tabela 13), os genótipos transgênicos apresentaram ganho genético similar e não significativo para o ciclo precoce, nos ambientes acima e abaixo de 700 metros de altitude. Por outro lado, genótipos transgênicos de ciclo semiprecoce e médio, em ambientes acima de 700 metros de altitude, apresentaram ganhos genéticos efetivos e relativos significativos e negativos de -1,58 dias ano<sup>-1</sup> e -2,28% e -0,94 dias ano<sup>-1</sup> e -1,38%, respectivamente. Da mesma forma, genótipos transgênicos de ciclo semiprecoce e médio, em ambientes abaixo de 700 metros de altitude, apresentaram ganhos genéticos efetivos e relativos significativos e negativos de -1,04 dias ano<sup>-1</sup> e -1,99% e -0,99 dias ano<sup>-1</sup> e -1,85%, respectivamente.

Para DEM (Tabela 14), os genótipos transgênicos apresentaram ganho genético similar e não significativo para o ciclo precoce, nos ambientes acima e abaixo de 700 metros de altitude. Genótipos transgênicos de ciclo semiprecoce e

médio, em ambientes acima de 700 metros de altitude, apresentaram ganhos genéticos efetivos e relativos significativos e negativos de  $-0,95$  dias ano<sup>-1</sup> e  $-0,70\%$  e  $-1,39$  dias ano<sup>-1</sup> e  $-0,98\%$ , respectivamente. Em ambientes abaixo de 700 metros de altitude, apresentaram ganhos genéticos efetivos e relativos significativos e negativos de  $-1,04$  dias ano<sup>-1</sup> e  $-0,83\%$  e  $-0,83$  dias ano<sup>-1</sup> e  $-0,65\%$ , respectivamente para genótipos de ciclo semiprecoce e médio. Estes resultados são similares aos observados por Ustun et al. (2001), que observaram decréscimo de 10 dias nos DEM de cinco cultivares de soja dos Grupos de maturidade IV e V, lançadas entre as décadas de 1940 e 1980. Em contra partida, Rogers et al. (2015), não observou alterações significativas nos DEM de 45 cultivares de soja lançadas entre 1928 e 2008.

Programas de melhoramento necessitam ser dinâmicos, renovando constantemente as linhagens em fase final de teste (VCU). O número de genótipos convencionais avaliados no período entre as safras de 2001/02 e 2013/14 (Tabela 15), no ensaio de VCU, variou entre 14 e 56, tendo um número médio de 34,2 genótipos. Por outro lado, o número de genótipos transgênicos, para o mesmo período, variou entre 23 e 70, tendo um número médio de 37,4 (Tabela 16). Ficando evidente, que apesar do foco principal dos programas de melhoramento de soja ser o lançamento de cultivares transgênicas, não se deve abdicar dos programas de melhoramento de soja convencional por sua importância estratégica, uma vez que, o processo de incorporação de novos eventos transgênicos se dará por retrocruzamentos em cultivares ou linhagens atuais, produtivas e estáveis, provenientes do programa de melhoramento de soja convencional, para posteriormente ser disponibilizada aos agricultores e/ou ser utilizadas como genitores, no programa de melhoramento.

Para genótipos convencionais, o número médio de testemunhas foi de 7,4, com uma amplitude entre 6 e 13. O número de genótipos novos variou entre 8 e 47 e o número de genótipos mantidos, de uma safra a outra, entre 0 e 12. Por outro lado, para genótipos transgênicos, o número médio de testemunhas foi de 6,9, com uma amplitude entre 2 e 10. O número de genótipos novos variou entre 14 e 52 e o número de genótipos mantidos, de uma safra a outra, entre 0 e 12. As taxas médias de seleção de genótipos (TSG) foram de 33,6% e 30,9% respectivamente para genótipos convencionais e transgênicos. Esta taxa de seleção evidencia os

esforços dos melhoristas em avaliar e desenvolver novos cultivares para ser utilizados por produtores.

É importante salientar que, mesmo não se obtendo ganho genético significativo no rendimento de grãos, para a média de genótipos convencionais, e mesmo estes não alcançando patamares de produtividade similares aos transgênicos nas últimas safras de avaliação, foi possível identificar genótipos promissores, tanto convencionais quanto transgênicos, com alto potencial produtivo e características agronômicas desejáveis, para serem lançados como cultivares comerciais, como pode-se observar na Tabela 17. Este fato reflete a importância do conhecimento teórico e prático, no que diz respeito a avaliação e seleção de genótipos promissores, proporcionando o lançamento de novos cultivares e disponibilizando para cultivo pelos produtores.

A metodologia para estimar o ganho genético empregada neste trabalho é eficiente, do ponto de vista estatístico, uma vez que o ganho é estimado a partir das médias ajustadas e corrigido mediante o auxílio de testemunha comum em todos os experimentos. Entretanto, os ganhos estimados neste trabalho podem ser diferentes dos vivenciados pelos produtores rurais, uma vez que nem todas as linhagens experimentais, que geraram os dados do presente estudo, foram lançadas comercialmente (LANGE; FEDERIZZI, 2009).

Entretanto, estudos como o desenvolvido neste trabalho, servem como exemplo do potencial de extrair informações relevantes a partir de dados existentes, sem a necessidade de dispêndio de recursos para a realização de novos ensaios (LANGE; FEDERIZZI, 2009), como foi o caso dos trabalhos desenvolvidos por Jin et al. (2010), Koester et al. (2014), Rogers et al. (2015), Rowntree et al. (2013), Wilson et al. (2013), contribuindo para demonstrar que as informações produzidas permitem a compreensão dos acontecimentos do passado, e servem como subsídio para a elaboração de novas estratégias, adoção de métodos corretivos e alocação de recursos, que em conjunto, resultará em um aumento na eficácia de programas de melhoramento (ALLIPRANDINI, et al, 1993; FARIA, 2011; LANGE; FEDERIZZI, 2009).

#### 4.5 CONCLUSÃO

Não foi obtido ganho genético para os caracteres rendimento de grãos, acamamento, estatura de planta, dias da emergência ao florescimento e dias da emergência à maturação, no período entre as safras de 2001/02 e 2013/14, para genótipos de soja convencional, independente da altitude e do grupo de maturação dos genótipos. Entretanto, houve ganho genético para os caracteres rendimento de grãos, acamamento, estatura de planta, dias da emergência ao florescimento e dias da emergência à maturação, no período entre as safras de 2001/02 e 2013/14, para genótipos de soja transgênica variando em função da altitude dos ambientes de avaliação e dos grupos de maturação.

O ganhos genéticos para rendimento de grãos, foram de 59,38, 44,50 e 64,34 Kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente para os genótipos de ciclo precoce, semiprecoce e médio, em ambientes acima de 700 metros de altitude. Em ambientes abaixo de 700 metros de altitude, os ganhos genéticos foram de 45,99, 58,37 e 84,32 Kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente, para genótipos de ciclo precoce, semiprecoce e médio.

Cultivares transgênicas apresentavam rendimento médio abaixo dos genótipos convencionais no início do período de avaliação (safra 2002/03), porém, em ambientes acima de 700 metros de altitude os genótipos convencionais e transgênicos apresentaram RG médio equivalente por volta da safra 2009/10, após esta safra, em média, os RG dos genótipos transgênicos se tornaram superiores. Por outro lado, ambientes abaixo de 700 metros de altitude, a equivalência entre os rendimentos médios de genótipos convencionais e transgênicos se deu na safra de 2010/11.

## 4.6 REFERÊNCIAS

ALLIPRANDINI, Luís F.; ABATTI, Claudiomir; BERTAGNOLLI, Paulo F.; CAVASSIM, José E.; GABE, Howard L; KUREK, Andreomar; MATSUMOTO, Marcos N.; OLIVEIRA, Marco A.R.; PITOL, Carlos; PRADO, Luís C.; STECKLING, Cleiton. Understanding Soybean Maturity Groups in Brazil: Environment, Cultivar Classification, and Stability. **Crop Science**, v.49, p.801-808, May–June, 2009.

ALIPRANDINI, Luíz, F.; TOLEDO, José, F.F. de; FONSECA JR. Nelson S.; KIIHL, Romeu A. de S.; ALMEIDA, Leones A. de Ganho genético em soja no Estado do Paraná, via melhoramento, no período de 1985/86 a 1989/90. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.28, n.4, p.489-497, abr. 1993.

BORNHOFEN, Elesandro. **Avaliação dos efeitos genéticos e ambientais na evolução do rendimento de grãos, qualidade de panificação e estabilidade de trigo**. 2015. 90 f. (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Pato Branco, 2015.

CARVALHO, Claudio G.P.; ARIAS, Carlos A.A.; TOLEDO, José F.F.; ALMEIDA, Leones A.; KIIHL, Romeu A.S.; OLIVEIRA, Marcelo F.; HIROMOTO, Dario M.; TAKEDA, Claudio. Proposta de classificação dos coeficientes de variação em relação à produtividade e altura da planta de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.2, p.187-193, fev. 2003.

CHIORATO, Alisson F.; CARBONELL, Sérgio A. M.; VENCOSKY, Roland; FONSECA JUNIOR, Nelson da S.; PINHEIRO, José B. Genetic gain in the breeding program of common beans at IAC from 1989 to 2007. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, vol.10, p.329-336, 2010.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos 2014/2015**. Décimo segundo levantamento. Setembro/2015. Brasília, p. 1-134, 2015.

FARIA, Anderson P.; FONSECA JÚNIOR, Nelson da S.; DESTRO, Dionísio; FARIA, Ricardo T. Ganho Genético na Cultura da Soja. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 28, n. 1, p. 71-78, jan./mar. 2007.

FARIA, Luiz C. **Progresso genético do programa de melhoramento do feijoeiro-comum da Embrapa no Brasil**. 2011. 119 f. Tese (Doutorado em Agronomia: Genética e Melhoramento de Plantas) – Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011.

FONSECA JÚNIOR, Nelson da S. **Progresso genético para a produtividade do feijão no estado do Paraná no período de 1977 a 1995**. 1997. 211 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 1997.

HENDERSON, C.R.; KEMPTHORNE, O.; SEARLE, S.R.; KROSIGK, C.M. The estimation of environmental and genetic trends from records subject to culling. **Biometrics**, v.15, n.2, p.192-218, 1959.

ISAAA - International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications. **Biotech Country Facts and Trends: Brazil**. 2015. Disponível em: [http://www.isaaa.org/resources/publications/biotech\\_country\\_facts\\_and\\_trends/download/Facts%20and%20Trends%20-%20Brazil.pdf](http://www.isaaa.org/resources/publications/biotech_country_facts_and_trends/download/Facts%20and%20Trends%20-%20Brazil.pdf). Acessado em: 22 de Dezembro de 2015.

JIN, Jian; LUI, Xiaobing; WANG, Guanghua; MI, Liang; SHEN, Zhongbao; CHEN, Xueli; HERBERT, Stephen J. Agronomic and physiological contributions to the yield improvement of soybean cultivars released from 1950 to 2006 in Northeast China. **Field Crops Research**, v.115, n.1, p.166-123, 2010.

KARMAKAR, P.G.; BHATNAGAR, P.S. Genetic improvement of soybean varieties released in India from 1969 to 1993. **Euphytica**, v.90, n.1, p.95-103, 1996.

KOESTER, Robert P.; SKONECZKA, Jeffrey A.; CARY, Troy R.; DIERS, Brian W.; AINSWORTH, Elizabeth A. Historical gains in soybean (*Glycine max* Merr.) seed yield are driven by linear increases in light interception, energy conversion, and partitioning efficiencies. **Journal of Experimental Botany**, v.65, n.12, p.3311–3321, 2014.

LANGE, Cláudia E.; FEDERIZZI, Luiz C. Estimation of soybean genetic progress in the south of Brazil using multienvironmental yield trials. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.66, n.3, p.309-316, mai/jun, 2009.

LIMA, Wilmar F.; PIPOLO, Antonio E.; MOREIRA, José U.V.; CARVALHO, Claudio G.P. de; PRETE, Cássio E.C.; ARIAS, Carlos A.A.; OLIVEIRA, Marcelo F. de; SOUZA, Geraldo E. de; TOLEDO, José F.F. Interação genótipo-ambiente de soja convencional e transgênica resistente a glifosato, no Estado do Paraná. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.6, p.729-736, 2008.

MARTINS, E.N.; LOPES, P.S.; SILVA, M.A.; REGAZZI, A.J. **Modelo linear misto**. Viçosa: UFV, 1993. 46p.

MATOS, José W.; RAMALHO, Magno A.P.; ABREU, Ângela F.B. Trinta e dois anos do programa de melhoramento genético do feijoeiro comum em Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1749-1754, nov./dez., 2007.

MCCANN, Melinda C.; LIU, Keshun; TRUJILLO, Willian A.; DOBERT, Raymond C. Glyphosate-Tolerant Soybeans Remain Compositionally Equivalent to Conventional Soybeans (*Glycine max* L.) during Three Years of Field Testing. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.53, n.13, p.5331–5335, 2005.

MORRISON, Malcolm J.; VOLDENG, Harvey D.; COBER, Elroy R. Agronomic changes from 58 years of genetic improvement of short-season soybean cultivars in Canada. **Agronomy Journal**, vol.92, jul–ago, 2000.

MORRISON, Malcolm J.; VOLDENG, Harvey D.; COBER, Elroy R. Physiological changes from 58 years of genetic improvement of short-season soybean cultivars in Canada. **Agronomy Journal**, vol.91, no.4, p.685-689, jul, 1999.

NOGUEIRA, A. P. O.; SEDIYAMA, T.; BARROS, B. H.; TEIXEIRA, R. C.; Morfologia, crescimento e desenvolvimento. In: SEDIYAMA, T. (Ed.). **Tecnologias de produção e usos da soja**. Londrina: Mecenas, 2009. p.7-16.

REIS, Edésio F.; REIS, Múcio S.; CRUZ, Cosme D.; SEDIYAMA, Tuneo. Comparação de procedimentos de seleção para produção de grãos em populações de soja. **Ciência Rural**, v.34, n.3, p.685-692, 2004.

RINCKER, Keith; NELSON, Randall; SPECHT, James; SLEPER, David; CARY, Troy; CIANZIO, Silvia R.; CASTEEL, Shaun; CONLEY, Shawn; CHEN, Pengyin; DAVIS, Vince; FOX, Carolyn; GRAEF, George; GODSEY, Chad; HOLSHOUSER, David; JIANG, Guo-Liang; KANTARTZI, Stella K.; KENWORTHY, William; LEE, Chad; MIAN, Rouf; MCHALE, Leah; NAEVE, Seth; ORF, James; POYSA, Vaino; SCHAPAUGH, William; SHANNON, Grover; UNIATOWSKI, Robert; WANG, Dechun; DIERS, Brian. Genetic Improvement of U.S. Soybean in Maturity Groups II, III, and IV. **Crop Science**, v.54, n.4, p.1419-1432, 2014.

ROGERS, Justin; CHEN, Pengyin; SHI, Ainong, ZHANG, Bo; SCABOO, Andrew; SMITH, Faye S.; ZENG, Ailan. Agronomic performance and genetic progress of selected historical soybean varieties in the southern USA. **Plant Breeding**, n.134, v.1, p.85-93, 2015.

ROWNTREE, Scott C.; SUHRE, Justin J.; WEIDENBENNER, Nicholas H.; WILSON, Eric W.; DAVIS, Vince M.; NAEVE, Seth L.; CASTEEL, Shaun N.; DIERS, Brian W.; ESKER, Paul D.; SPECHT, James E.; CONLEY, Shawn P. Genetic Gain × Management Interactions in Soybean: I. Planting Date. **Crop Science**, v. 53, n.3, p.1128-1138, may–june 2013.

RUBIN, Sérgio A.L.; SANTOS, Osmar S. dos. Progresso do melhoramento genético da soja no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Brasília, v.2, p.139-147, 1996.

SAS - Statistical Analysis Sistem. **SAS/STAT user's guide**. SAS Institute, Cary, 1028p. 2001.

SOARES, Plínio S.; MELO, Patrícia G. S.; MELO, Leonardo C.; SOARES, Antônio A. Genetic gain in an improvement program of irrigated rice in Minas Gerais. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, n.5, p.142-148, 2005.

SPECHT, J.E.; HUME, D.J.; KUMUDINI, S.V. Soybean yield potential — A genetic and physiological perspective. **Crop Science**. v.39, n.6, p.1560-1570. nov, 1999.

TOLEDO, José F.F.; ALMEIDA, Leones A.; KIIHL, Romeu A.S.; MENOSSO, Orival. G. Ganho genético em soja no Estado do Paraná via melhoramento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.25, p.89-94, 1990.

TORRES, Francisco E.; DAVID, Guilherme V.; TEODORO, Paulo E.; RIBEIRO, Larissa P.; CORREA, Caio G.; LUZ JÚNIOR, Roque A. Desempenho agrônômico e dissimilaridade genética entre genótipos de soja. **Revista de Ciências Agrárias**, v.38, n.1, p. 111-117, 2015.

USTUN, Ali; ALLEN, Fred L.; ENGLISH, Burton C. Genetic Progress in Soybean of the U.S. Midsouth. **Crop Science**, v.41, p.993-998, 2001.

WILSON, Eric W.; ROWNTREE, Scott C.; SUHRE, Justin J.; WEIDENBENNER, Nicholas H.; CONLEY, Shawn P.; DAVIS, Vince M.; DIERS, Brian W.; ESKER, Paul D.; NAEVE, Seth L.; SPECHT, James E.; CASTEEL Shaun N. Genetic Gain × Management Interactions in Soybean: II. Nitrogen Utilization. **Crop Science**, v.54 n. 1, p.340–348, 2014.

ZHOU Jie; BERMAN, Kristina H.; BREEZE, Matthew L.; NEMETH, Margaret A.; OLIVEIRA, Wladecir S.; BRAGA, Daniella P.V.; BERGER, Geraldo U.; HARRIGAN, George G. Compositional Variability in Conventional and Glyphosate-Tolerant Soybean (*Glycine max* L.) Varieties Grown in Different Regions in Brazil. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.59, n.21, p.11652–11656, 2011.

Tabela 7. Valores médios, mínimos (Min) e máximos (Max) do rendimento de grãos (RG), acamamento (AC), para coeficiente de variação (C.V.), número de tratamentos por ano, número de experimentos por ano, número de experimentos, de genótipo de soja convencionais (C) e transgênicos (T) entre as safras de 2001/02 e 2013/14, na região meridional do Brasil.

		RG (Kg ha <sup>-1</sup> )		AC	
		C	T	C	T
Caractere	Média	3439,60	3313,30	1,95	1,97
	Min-Max	3063,7 - 4096,3	2929,5 - 3876,3	1,5 - 2,4	1,4 - 2,4
C.V. (%)	Média	12,80	12,20	27,11	25,63
	Min-Max	11,7 - 13,7	10,6 - 13,4	19,8 - 33,8	22,9 - 28,6
Nº de tratamentos por ano	Média	34,20	38,30	34,85	36,60
	Min-Max	14 - 56	23 - 70	14 - 56	18 - 56
Nº de experimentos por ano	Média	27,50	27,10	13,77	13,80
	Min-Max	7 - 38	16 - 40	3 - 21	8 - 22
Nº de experimentos		358	325	179	138
Nº de parcelas		26119	26884	13148	11788

Tabela 8. Valores médios, mínimos (Min) e máximos (Max) do estatura de planta (EP), dias da emergência ao florescimento (DEF) e dias da emergência a maturação (DEM), para coeficiente de variação (C.V.), número de tratamentos por ano, número de experimentos por ano, número de experimentos, de genótipo de soja convencionais (C) e transgênicos (T) entre as safras de 2001/02 e 2013/14, na região meridional do Brasil.

		EP		DEF		DEM	
		C	T	C	T	C	T
Caractere	Média	88,10	87,69	47,58	49,79	120,61	120,58
	Min-Max	66,6 - 106,8	72,9 - 101,9	36,4 - 55,5	36,9 - 73,7	112,5 - 128,3	109,8 - 133,0
C.V. (%)	Média	7,92	7,95	3,19	3,01	1,52	1,55
	Min-Max	5,9 - 10,2	5,4 - 9,2	1,9 - 5,4	1,9 - 4,2	0,9 - 2,3	1,2 - 2,3
N° de tratamentos por ano	Média	33,46	37,00	32,69	37,75	33,46	36,42
	Min-Max	14 - 56	23 - 56	13 - 56	23 - 70	14 - 56	23 - 56
N° de experimentos por ano	Média	24,08	22,00	13,92	12,92	13,54	13,00
	Min-Max	5 - 39	11 - 38	3 - 23	7 - 24	3 - 27	7 - 19
N° de experimentos		313	264	181	155	176	156
N° de parcelas		22759	21916	13571	12500	12820	12932

Tabela 9. Análise de variância dos caracteres rendimento de grãos (RG), acamamento (AC), estatura de planta (EP), dias da emergência ao florescimento (DEF) e dias da emergência a maturação (DEM) de genótipos de soja convencional, de diferentes ciclos (precoce, semiprecoce e médio), em ambientes acima e abaixo de 700 metros, no período de 2002 a 2014, do programa de melhoramento de soja da Embrapa, na região meridional do Brasil.

Fontes de Variação	RG		AC		EP		DEF		DEM	
	G.L.	F.	G.L.	F.	G.L.	F.	G.L.	F.	G.L.	F.
Ano	12	266,04** <sup>1</sup>	11	234,86**	12	1256,03**	12	2132,73**	12	2420,43**
Altitude	1	616,27**	1	5333,99**	1	12859,20**	1	36770,50**	1	66355,90**
Ciclo	2	754,98**	2	1055,17**	2	3512,01**	2	8825,02**	2	74694,20**
Tipo	1	769,83**	1	240,55**	1	389,76**	1	1532,58**	1	322,63**
Genótipo	621	6,38**	586	14,86**	621	32,16**	621	14,58**	621	5,94**
Ano x Altitude	12	161,18**	11	109,33**	12	267,14**	12	199,65**	12	104,55**
Ano x Ciclo	24	88,00**	22	51,72**	24	88,63**	24	72,35**	24	41,28**
Ano x Tipo	11	11,95**	10	5,46**	11	7,88**	11	19,95**	11	5,72**
Altitude x Ciclo	2	20,07**	2	482,95**	2	289,06**	2	184,42**	2	62,65**
Altitude x Tipo	1	19,98**	1	18,78**	1	80,29**	1	129,00**	1	15,43**
Ciclo x Tipo	2	67,91**	2	47,23**	2	38,23**	2	62,69**	2	89,37**
Ano x Altitude x Ciclo	24	71,90**	22	32,18**	24	52,80**	24	92,40**	24	49,95**
Ano x Altitude x Tipo	11	48,82**	10	14,98**	11	18,00**	11	43,52**	11	19,01**
Altitude x Ciclo x Tipo	2	24,33**	2	57,79**	2	3,03*	2	10,55**	2	1,49 <sup>NS</sup>
Ano x Altitude x Ciclo x Tipo	43	12,74**	38	19,42**	42	21,03**	41	26,62**	41	18,39**

<sup>1</sup>: NS, \*, \*\*: Não significativo, significativo a 5 e a 1% de significância de erro pelo teste F, respectivamente. G.L.: Graus de Liberdade; F.: Valor calculado para teste F.

Tabela 10. Estimativas do ganho genético e regressões das médias ajustadas do rendimento de grãos (kg ha<sup>-1</sup>), dos genótipos novos de soja convencional e transgênico, de diferentes ciclos, no total dos ambientes avaliados, ambientes acima e abaixo de 700 metros, no período entre as safras de 2001/02 a 2013/14, do programa de melhoramento de soja da Embrapa, na região meridional do Brasil.

Ciclo	TOTAL DE AMBIENTES									
	Convencional					Transgênico				
	NO	Regressão linear	R <sup>2</sup>	GA	GR (%)	NO	Regressão linear	R <sup>2</sup>	GA	GR (%)
Precoce	9	Y= 3255,52** + 5,11x <sup>1</sup>	0,02 <sup>2</sup>			9	Y= 2941,38** + 44,01*x	0,63*	44,01	1,50
Semiprecoce	13	Y= 3233,72** + 14,82x	0,19			10	Y= 2947,83** + 47,78x**	0,86**	47,78	1,62
Médio	9	Y= 3430,06** - 13,01x	0,09			9	Y= 2838,50** + 58,72x*	0,60*	58,72	2,07
AMBIENTES ACIMA DE 700 METROS										
Precoce	9	Y= 3265,14** + 10,18x	0,06			9	Y= 2917,97** + 59,38x**	0,67**	59,38	2,03
Semiprecoce	13	Y= 3425,86** - 5,62x	0,01			10	Y= 3030,14** + 44,50x**	0,74**	44,50	1,47
Médio	9	Y= 3496,75** - 11,11x	0,06			9	Y= 2929,63** + 64,34x**	0,54**	64,34	2,20
AMBIENTES ABAIXO DE 700 METROS										
Precoce	9	Y= 3199,78** + 12,38x	0,11			9	Y= 2862,86** + 45,99x*	0,54*	45,99	1,61
Semiprecoce	13	Y= 3108,26** + 26,95x	0,30			11	Y= 2816,95** + 58,37x**	0,91**	58,37	2,07
Médio	8	Y= 3374,45** - 10,16x	0,04			9	Y= 2594,88** + 84,32x**	0,81**	84,32	3,25

<sup>1</sup>Para regressões: \*, \*\*: Significativo a 5 e a 1% de significância de erro pelo teste t, respectivamente; <sup>2</sup>Para R<sup>2</sup>: \*, \*\*: Significativo a 5 e a 1% de significância de erro pelo teste F, respectivamente. NO: Número de observações; GA: Ganho genético absoluto; GR: Ganho genético relativo, em porcentagem

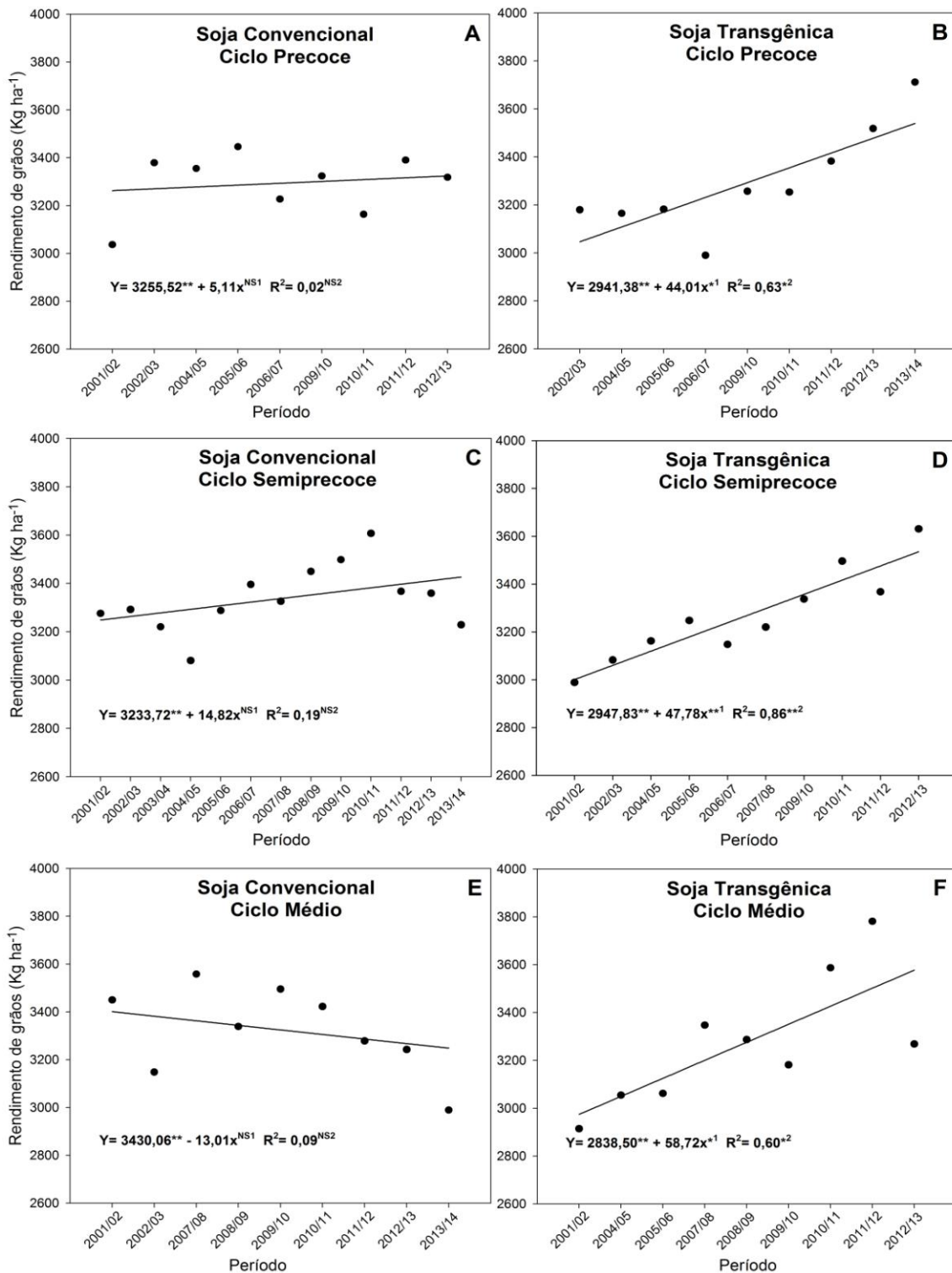


Figura 5. Regressões das médias ajustadas do rendimento de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), dos genótipos novos de soja convencional de ciclo precoce (A), semiprecoce (C) e médio (E), e transgênica de ciclo precoce (B), semiprecoce (D) e médio (F), no total dos ambientes, no período entre as safras de 2001/02 até 2013/14. <sup>1</sup>: NS, \*, \*\*: Não significativo, significativo a 5 e a 1% de significância de erro pelo teste t, respectivamente; <sup>2</sup>: NS, \*, \*\*: Não significativo, significativo a 5 e a 1% de significância de erro pelo teste F, respectivamente.

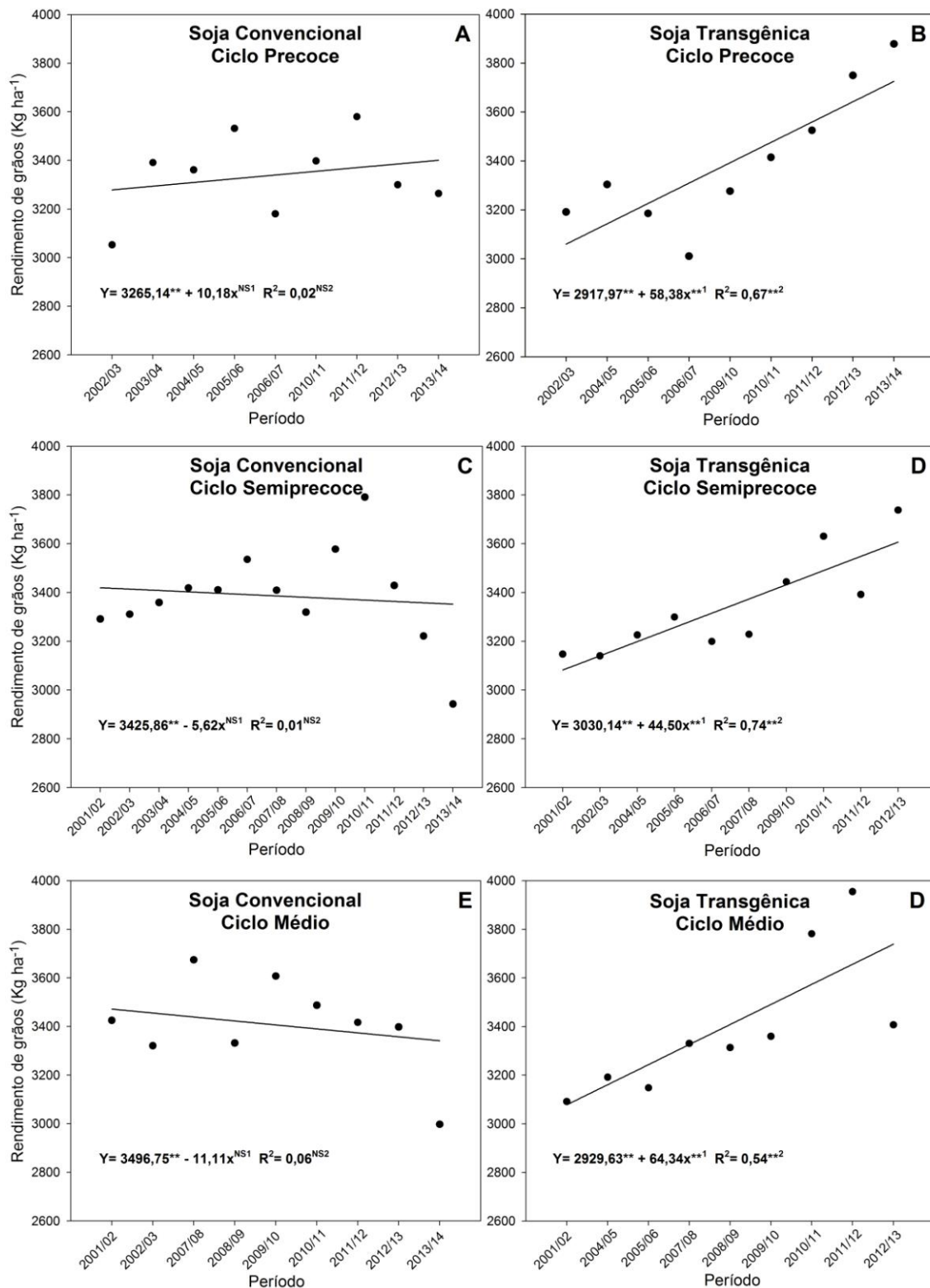


Figura 6. Regressões das médias ajustadas do rendimento de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), dos genótipos novos de soja convencional de ciclo precoce (A), semiprecoce (C) e médio (E), e transgênica de ciclo precoce (B), semiprecoce (D) e médio (F), para ambientes acima de 700 metros de altitude, no período entre as safras de 2001/02 até 2013/14. <sup>1</sup>: NS, \*, \*\*: Não significativo, significativo a 5 e a 1% de significância de erro pelo teste t, respectivamente; <sup>2</sup>: NS, \*, \*\*: Não significativo, significativo a 5 e a 1% de significância de erro pelo teste F, respectivamente.

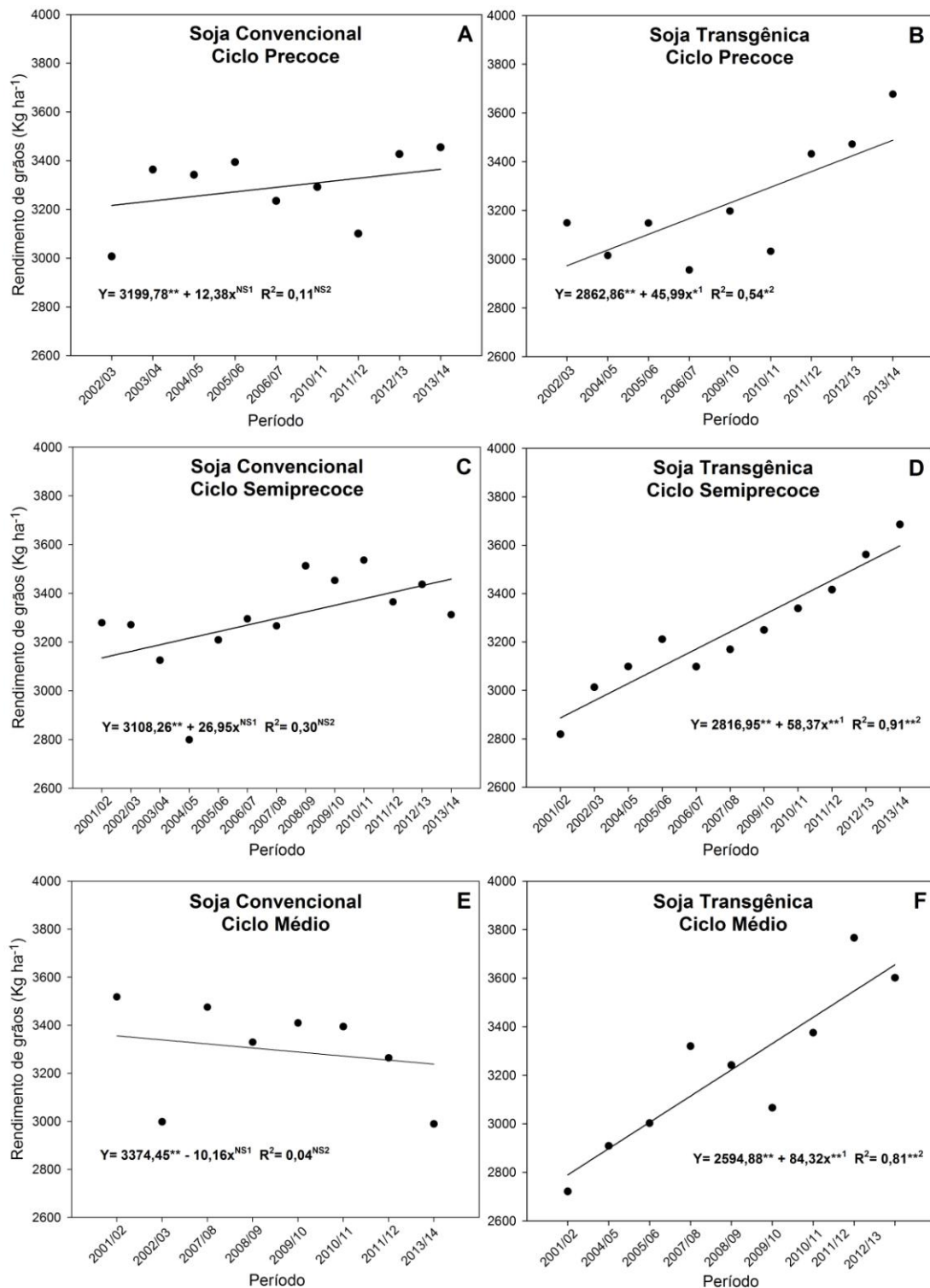


Figura 7. Regressões das médias ajustadas do rendimento de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), dos genótipos novos de soja convencional de ciclo precoce (A), semiprecoce (C) e médio (E), e transgênica de ciclo precoce (B), semiprecoce (D) e médio (F), para ambientes baixo de 700 metros de altitude, no período entre as safras de 2001/02 até 2013/14. <sup>1</sup>: NS, \*, \*\*: Não significativo, significativo a 5 e a 1% de significância de erro pelo teste t, respectivamente; <sup>2</sup>: NS, \*, \*\*: Não significativo, significativo a 5 e a 1% de significância de erro pelo teste F, respectivamente.

Tabela 11. Estimativas do ganho genético e regressões das médias ajustadas das notas de acamamento (1 a 5), dos genótipos novos de soja convencional e transgênico, de diferentes ciclos, no total dos ambientes avaliados, ambientes acima e abaixo de 700 metros, no período entre as safras de 2001/02 a 2013/14, do programa de melhoramento de soja da Embrapa, na região meridional do Brasil.

Ciclo	TOTAL DE AMBIENTES									
	Convencional					Transgênico				
	NO	Regressão linear	R <sup>2</sup>	GA	GR (%)	NO	Regressão linear	R <sup>2</sup>	GA	GR (%)
Precoce	9	Y= 1,70** + 0,011x <sup>1</sup>	0,04 <sup>2</sup>			9	Y= 1,75** - 0,022x	0,06		
Semiprecoce	12	Y= 1,65** - 0,004x	0,00			9	Y= 1,37** + 0,056x	0,35		
Médio	8	Y= 1,07 + 0,089x	0,28			8	Y= 1,65** + 0,010x	0,01		
AMBIENTES ACIMA DE 700 METROS										
Precoce	6	Y= 2,50** - 0,064x	0,27			9	Y= 2,63** - 0,081x	0,35		
Semiprecoce	6	Y= 2,32** - 0,050x	0,24			8	Y= 2,33** - 0,027x	0,20		
Médio	6	Y= 1,33 + 0,099x	0,17			8	Y= 2,42** - 0,017x	0,02		
AMBIENTES ABAIXO DE 700 METROS										
Precoce	7	Y= 1,41** + 0,023x	0,10			9	Y= 1,32** + 0,005x	0,00		
Semiprecoce	7	Y= 1,48** - 0,008x	0,01			9	Y= 0,91** + 0,076x*	0,55*	0,076	8,35
Médio	6	Y= 0,91 + 0,083x	0,37			8	Y= 1,01* + 0,053x	0,27		

<sup>1</sup>Para regressões: \*, \*\*: Significativo a 5 e a 1% de significância de erro pelo teste t, respectivamente; <sup>2</sup>Para R<sup>2</sup>: \*, \*\*: Significativo a 5 e a 1% de significância de erro pelo teste F, respectivamente. NO: Número de observações; GA: Ganho genético absoluto; GR: Ganho genético relativo, em porcentagem.

Tabela 12. Estimativas do ganho genético e regressões das médias ajustadas da estatura de planta (em cm), dos genótipos novos de soja convencional e transgênico, de diferentes ciclos, no total dos ambientes avaliados, ambientes acima e abaixo de 700 metros, no período entre as safras de 2001/02 a 2013/14, do programa de melhoramento de soja da Embrapa, na região meridional do Brasil.

Ciclo	TOTAL DE AMBIENTES									
	Convencional			Transgênico						
	NO	Regressão linear	R <sup>2</sup>	GA	GR (%)	NO	Regressão linear	R <sup>2</sup>	GA	GR (%)
Precoce	9	Y= 87,13** + 0,46x <sup>1</sup>	0,11 <sup>2</sup>			9	Y= 75,75** + 1,50x*	0,50*	1,50	1,98
Semiprecoce	8	Y= 73,01** + 2,15x	0,37			9	Y= 73,77** + 2,42x**	0,81**	2,42	3,28
Médio	8	Y= 88,03** + 0,87x	0,17			8	Y= 81,55** + 1,57x	0,33		
AMBIENTES ACIMA DE 700 METROS										
Precoce	5	Y= 96,25** + 0,17x	0,03			9	Y= 88,55** + 0,91x	0,19		
Semiprecoce	8	Y= 86,46** + 0,93x	0,18			9	Y= 86,91** + 1,70x**	0,84**	1,70	1,96
Médio	8	Y= 101,23** - 0,59x	0,07			8	Y= 94,74** + 0,73x	0,17		
AMBIENTES ABAIXO DE 700 METROS										
Precoce	6	Y= 77,53** + 1,31x	0,30			9	Y= 65,85** + 1,93x**	0,75**	1,93	1,14
Semiprecoce	7	Y= 72,98** + 1,93x	0,14			9	Y= 61,67** + 3,15x**	0,83**	3,15	1,35
Médio	6	Y= 80,15** + 1,41x	0,27			8	Y= 80,90** + 2,23x	0,41		

<sup>1</sup>Para regressões: \*, \*\*: Significativo a 5 e a 1% de significância de erro pelo teste t, respectivamente; <sup>2</sup>Para R<sup>2</sup>: \*, \*\*: Significativo a 5 e a 1% de significância de erro pelo teste F, respectivamente. NO: Número de observações; GA: Ganho genético absoluto; GR: Ganho genético relativo, em porcentagem.

Tabela 13. Estimativas do ganho genético e regressões das médias ajustadas dos dias da emergência ao florescimento, dos genótipos novos de soja convencional e transgênico, de diferentes ciclos, no total dos ambientes avaliados, ambientes acima e abaixo de 700 metros, no período entre as safras de 2001/02 a 2013/14, do programa de melhoramento de soja da Embrapa, na região meridional do Brasil.

Ciclo	TOTAL DE AMBIENTES									
	Convencional					Transgênico				
	NO	Regressão linear	R <sup>2</sup>	GA	GR (%)	NO	Regressão linear	R <sup>2</sup>	GA	GR (%)
Precoce	6	Y= 51,80** - 0,58x <sup>1</sup>	0,16 <sup>2</sup>			9	Y= 55,13** - 1,20x	0,43		
Semiprecoce	8	Y= 52,97** - 0,88x	0,32			9	Y= 61,19** - 1,44x**	0,80**	-1,44	-2,35
Médio	8	Y= 47,11** + 0,35x	0,19			8	Y= 61,66** - 1,24x**	0,87**	-1,24	-2,01
AMBIENTES ACIMA DE 700 METROS										
Precoce	6	Y= 62,46** - 1,17x	0,40			9	Y= 65,32** - 1,52x	0,44		
Semiprecoce	8	Y= 59,21** - 0,73x	0,35			9	Y= 69,26** - 1,58x**	0,85**	-1,58	-2,28
Médio	8	Y= 55,23** + 0,17x	0,02			8	Y= 68,31** - 0,94x**	0,78**	-0,94	-1,38
AMBIENTES ABAIXO DE 700 METROS										
Precoce	6	Y= 48,44** - 0,77x	0,37			9	Y= 47,98** - 0,89x	0,40		
Semiprecoce	7	Y= 46,68** - 0,57x	0,19			9	Y= 52,10** - 1,04x**	0,69**	-1,04	-1,99
Médio	6	Y= 41,60** + 0,51x	0,42			8	Y= 53,53** - 0,99x**	0,86**	-0,99	-1,85

<sup>1</sup>Para regressões: \*, \*\*: Significativo a 5 e a 1% de significância de erro pelo teste t, respectivamente; <sup>2</sup>Para R<sup>2</sup>: \*, \*\*: Significativo a 5 e a 1% de significância de erro pelo teste F, respectivamente. NO: Número de observações; GA: Ganho genético absoluto; GR: Ganho genético relativo, em porcentagem.

Tabela 14. Estimativas do ganho genético e regressões das médias ajustadas dos dias da emergência à maturação fisiológica, dos genótipos novos de soja convencional e transgênico, de diferentes ciclos, no total dos ambientes avaliados, ambientes acima e abaixo de 700 metros, no período entre as safras de 2001/02 a 2013/14, do programa de melhoramento de soja da Embrapa, na região meridional do Brasil.

Ciclo	TOTAL DE AMBIENTES									
	Convencional					Transgênico				
	NO	Regressão linear	R <sup>2</sup>	GA	GR (%)	NO	Regressão linear	R <sup>2</sup>	GA	GR (%)
Precoce	8	Y= 125,61** - 0,87x <sup>1</sup>	0,41 <sup>2</sup>			9	Y= 125,29** - 1,23x	0,32		
Semiprecoce	8	Y= 123,20** - 0,28x	0,08			9	Y= 129,32** - 1,06x**	0,68**	-1,06	-0,82
Médio	8	Y= 124,86** - 0,30x	0,24			8	Y= 131,99** - 0,89x*	0,63*	-0,89	-0,67
AMBIENTES ACIMA DE 700 METROS										
Precoce	8	Y= 128,76** - 0,66x	0,43			9	Y= 131,97** - 1,39x	0,33		
Semiprecoce	8	Y= 129,73** - 0,36x	0,11			9	Y= 135,22** - 0,95x**	0,64**	-0,95	-0,70
Médio	8	Y= 132,00** - 0,55x	0,21			7	Y= 141,73** - 1,39x*	0,71*	-1,39	-0,98
AMBIENTES ABAIXO DE 700 METROS										
Precoce	5	Y= 118,57** - 0,31x	0,19			9	Y= 119,89** - 0,93x	0,26		
Semiprecoce	8	Y= 118,93** - 0,25x	0,12			9	Y= 125,35** - 1,04x**	0,70**	-1,04	-0,83
Médio	6	Y= 119,48** - 0,07x	0,02			8	Y= 127,52** - 0,83x*	0,63*	-0,83	-0,65

<sup>1</sup>Para regressões: \*, \*\*: Significativo a 5 e a 1% de significância de erro pelo teste t, respectivamente; <sup>2</sup>Para R<sup>2</sup>: \*, \*\*: Significativo a 5 e a 1% de significância de erro pelo teste F, respectivamente. NO: Número de observações; GA: Ganho genético absoluto; GR: Ganho genético relativo, em porcentagem.

Tabela 15. Taxa de seleção de genótipos de soja convencional do ensaio de VCU da Embrapa, entre as safras 2001/02 e 2013/14, na região meridional do Brasil.

Safra	TG*	TEST	GN	GM	TSG (%)
2001/2002	36	13	23	0	-
2002/2003	34	9	23	2	8.7
2003/2004	32	7	17	8	47.1
2004/2005	32	6	14	12	85.7
2005/2006	34	6	22	6	27.3
2006/2007	54	8	37	9	24.3
2007/2008	51	8	34	9	26.5
2008/2009	30	7	16	7	43.8
2009/2010	23	7	11	5	45.5
2010/2011	14	6	8	0	-
2011/2012	23	6	15	2	13.3
2012/2013	26	6	14	6	42.9
2013/2014	56	7	47	2	4.3
<b>Média</b>	<b>34.2</b>	<b>7.4</b>	<b>21.6</b>	<b>5.2</b>	<b>33.6</b>

\*: TG: Total de genótipos; TEST: Testemunhas; GN: Genótipos novos; GM: Genótipos mantidos; TSG (%):Taxa de seleção de genótipos, em porcentagem.

Tabela 16. Taxa de seleção de genótipos de soja transgênica (RR) do ensaio de VCU da Embrapa, entre as safras 2001/02 e 2013/14, na região meridional do Brasil.

Safra	TG	TEST	GN	GM	TSG (%)
2001/2002	23	2	21	0	-
2002/2003	44	6	30	8	26.7
2003/2004	27	2	17	8	47.1
2004/2005	29	7	20	2	10.0
2005/2006	37	8	26	3	11.5
2006/2007	44	8	25	11	44.0
2007/2008	30	6	12	12	100.0
2008/2009	28	8	14	6	42.9
2009/2010	56	9	44	3	6.8
2010/2011	27	6	15	6	40.0
2011/2012	40	10	27	3	11.1
2012/2013	31	8	20	3	15.0
2013/2014	70	10	52	8	15.4
<b>Média</b>	<b>37.4</b>	<b>6.9</b>	<b>24.8</b>	<b>5.6</b>	<b>30.9</b>

\*: TG: Total de genótipos; TEST: Testemunhas; GN: Genótipos novos; GM: Genótipos mantidos; TSG (%):Taxa de seleção de genótipos, em porcentagem.

Tabela 17. Relação do nome das linhagens de soja convencionais e transgênicas que se tornaram cultivares e seus respectivos anos de lançamento, entre os anos de 2002 e 2014.

Ano de lançamento	Nome da Cultivar	Nome da linhagem	Ano de lançamento	Nome da Cultivar	Nome da linhagem
2003	BRS 230	BR97-21277	2009	BRS 317	BR04-46450
2003	BRS 231	BR92-31814	2010	BRS 316RR	BR04-78264
2003	BRS 232	BR96-27029	2011	BRS 334RR	BR04-88145
2003	BRS 242RR	BR00-68506	2011	BRS 359RR	BR08-52783
2003	BRS 243RR	BR00-68380	2011	BRS 360RR	BR08-52756
2003	BRS 244RR	BR00-68508	2011	BRS 361	BR05-40131
2003	BRS 245RR	BR00-68513	2013	BRS 376	BR07-06376
2003	BRS 246RR	BR99-101951	2013	BRS 378RR	BR09-50304
2003	BRS 247RR	BR00-68514	2013	BRS 379RR	BR09-50350
2005	BRS 255RR	BR00-68510	2013	BRS 382CV	BRZ09-1878
2005	BRS256RR	BR99-100827	2013	BRS 388RR	BR09-55277
2005	BRS 257	BR99-21216	2013	BRS 392CV	BRZ09-1876
2005	BRS 258	BR99-9980	2014	BRS 391	BRI08-00318
2005	BRS 259	BR98-18046	2014	BRS 397CV	BRZ11-6426
2005	BRS 260	BR98-24299	2014	BRS 399RR	BR10-50141
2005	BRS 261	BR99-11689	2014	BRS 1001IPRO	BRB12-20628
2005	BRS 262	BRS99-3421	2014	BRS 1002IPRO	BRB11-00329
2006	BRS 267	BRM04-52273	2014	BRS 1003IPRO	BRB12-20626
2006	BRS 268	BR00-17869	2014	BRS 1004IPRO	BRB11-01351
2007	BRS 282	BR01-11854	2014	BRS 1005IPRO	BRB11-01997
2007	BRS 283	BR02-04468	2014	BRS 1006IPRO	BRB12-20634
2007	BRS 284	BR02-05164	2014	BRS 1007IPRO	BRB11-02865
2009	BRS 294RR	BR03-71454	2014	BRS 1010IPRO	BRB11-01964
2009	BRS 295RR	BR04-206522			

## 5 CONCLUSÕES GERAIS

Os programas de melhoramento genético de soja são essenciais para atender à crescente demanda por cultivares capazes de superar patamares de produtividade, estáveis, adaptadas aos mais variados ambientes de cultivo e com caracteres agrônômicos que propiciem tais características. Além disto, é importantes que estudos sejam executados para avaliar o comportamento de cultivares e/ou linhagens, gerando informações com maior acurácia, permitindo melhor interpretação dos dados obtidos. Neste contexto, a avaliação de genótipos pode ser feita através de ensaios de competição instalados em diferentes ambientes por vários anos, como é o caso dos ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU), que propiciam estimar o ganho genético dos genótipos ao passar do tempo, além de gerar informações primordiais que permitem a compreensão dos acontecimentos do passado, e servem como subsídio para a elaboração de novas estratégias, adoção de métodos corretivos e alocação de recursos, que em conjunto, resultará em um aumento na eficácia de programas de melhoramento. Porém para uma avaliação do ganho genético real obtido pelo produtor rural, a avaliação dos genótipos deve ser feita a partir de genótipos lançados, uma vez que, nem todas as linhagens experimentais, que geraram os dados do presente estudo, foram lançadas comercialmente

Desta forma, pode-se observar através dos dados obtidos neste trabalho, baseados nos ensaios de VCU do programa de melhoramento da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) que, para o período compreendido entre as safras 1994/1995 a 2000/2001, não foi detectado ganho genético para os caracteres rendimento de grãos, dias da emergência ao florescimento e dias da emergência à maturação, independente do ciclo e ambiente de avaliação dos genótipos convencionais de soja. Os mesmos resultados foram obtidos para o período entre as safras de 2001/02 e 2013/14, para genótipos de soja convencional. Porém, para genótipos transgênicos de soja, avaliados no período entre as safras de 2001/02 e 2013/14, observou-se ganho genético para todos os caracteres avaliados, variando em função da altitude dos ambientes de avaliação e dos grupos de maturação.

Genótipos transgênicos de soja apresentavam rendimento médio abaixo dos genótipos convencionais no início do período de avaliação (safra

2002/03), porém, em ambientes acima e abaixo de 700 metros de altura os genótipos convencionais e transgênicos apresentaram rendimento de grãos médio equivalente por volta da safra 2009/10 e 2010/11, respectivamente, após estas safras, os rendimento de grãos dos genótipos transgênicos se tornaram superiores.

Por fim, a magnitude dos ganho absoluto (em  $\text{kg ha}^{-1}$ ) obtidos para os genótipos transgênicos de soja é superior aos ganhos reportados em inúmeros estudos em países produtores de soja. Isso permite inferir que as estratégias de seleção de genótipos transgênicos utilizadas no programa de melhoramento de soja da Embrapa, foram eficientes. Contudo, para genótipos convencionais, há necessidade da elaboração de novas estratégias com intuito de aumentar a eficácia do programa de melhoramento.

**APÊNDICES - ARTIGO A**

Apêndice A1. Relação entre o maior e menor quadrados médios do resíduo do rendimento de grão ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), de genótipos convencionais de soja de ciclos precoce e médio para o período entre as safras 1994/1995 e 2000/2001, para todos os ambientes avaliados.

CICLO	SAFRA	NA*	QUADRADOS MÉDIOS		RELAÇÃO
			MAIOR	MENOR	
Precoce	1994/95	11	218482	68922	3,17
Precoce	1995/96	10	240881	68369	3,52
Precoce	1996/97	9	146674	45831	3,20
Precoce	1997/98	7	166287	29527	5,63
Precoce	1998/99	9	194353	55766	3,49
Precoce	1999/00	8	181209	46718	3,88
Precoce	2000/01	18	465793	67171	6,93
Médio	1994/95	11	330189	58510	5,64
Médio	1995/96	10	292078	58411	5,00
Médio	1998/99	9	208991	55573	3,76
Médio	1999/00	9	246043	62113	3,96
Médio	2000/01	17	390565	84636	4,61

\*NA: Número de ambientes.

Apêndice A2. Relação entre o maior e menor quadrados médios do resíduo do rendimento de grão ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), de genótipos convencionais de soja de ciclos precoce e médio para o período entre as safras 1994/1995 e 2000/2001, para ambientes acima de 700 metros de altitude.

CICLO	SAFRA	NA*	QUADRADOS MÉDIOS		RELAÇÃO
			MAXIMO	MINIMO	
Precoce	1994/95	7	218482	68922	3,17
Precoce	1995/96	6	229277	68369	3,35
Precoce	1996/97	6	146674	45831	3,20
Precoce	1997/98	3	67874	29527	2,30
Precoce	1998/99	5	145207	60071	2,42
Precoce	1999/00	5	148857	46718	3,19
Precoce	2000/01	10	376690	67171	5,61
Médio	1994/95	7	267200	58510	4,57
Médio	1995/96	6	138112	58411	2,36
Médio	1998/99	5	208991	55573	3,76
Médio	1999/00	6	142217	62113	2,29
Médio	2000/01	11	390565	84636	4,61

\*NA: Número de ambientes.

Apêndice A3. Relação entre o maior e menor quadrados médios do resíduo do rendimento de grão ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), de genótipos convencionais de soja de ciclos precoce e médio para o período entre as safras 1994/1995 e 2000/2001, para ambientes abaixo de 700 metros de altitude.

CICLO	SAFRA	NA*	QUADRADOS MÉDIOS		RELAÇÃO
			MAXIMO	MINIMO	
Precoce	1994/95	4	194977	76824	2,54
Precoce	1995/96	4	240881	72398	3,33
Precoce	1996/97	3	98571	69077	1,43
Precoce	1997/98	4	166287	53924	3,08
Precoce	1998/99	4	194353	55766	3,49
Precoce	1999/00	3	181209	99524	1,82
Precoce	2000/01	8	465793	75033	6,21
Médio	1994/95	4	330189	98060	3,37
Médio	1995/96	4	292078	77799	3,75
Médio	1998/99	4	171062	102865	1,66
Médio	1999/00	3	246043	107893	2,28
Médio	2000/01	6	372130	101150	3,68

\*NA: Número de ambientes.

Apêndice A4. Relação entre o maior e menor quadrados médios do resíduo do acamamento (AC), de genótipos convencionais de soja de ciclos precoce e médio para o período entre as safras 1994/1995 e 2000/2001, para diferentes ambientes.

<b>TOTAL DE AMBIENTES</b>					
<b>CICLO</b>	<b>SAFRA</b>	<b>NA*</b>	<b>QUADRADOS MÉDIOS</b>		<b>RELAÇÃO</b>
			<b>MAXIMO</b>	<b>MINIMO</b>	
Precoce	1994/95	10	0,40	0,06	6,23
Precoce	1995/96	5	0,41	0,08	4,98
Precoce	1996/97	7	0,48	0,12	3,94
Precoce	1997/98	2	0,43	0,33	1,30
Médio	1994/95	7	0,24	0,07	3,74
Médio	1995/96	5	0,31	0,09	3,40
<b>AMBIENTES ACIMA DE 700M DE ALTITUDE</b>					
<b>CICLO</b>	<b>SAFRA</b>	<b>NA</b>	<b>QUADRADOS MÉDIOS</b>		<b>RELAÇÃO</b>
			<b>MAXIMO</b>	<b>MINIMO</b>	
Precoce	1994/95	6	0,40	0,11	3,67
Precoce	1995/96	3	0,41	0,08	4,98
Precoce	1996/97	5	0,48	0,12	3,94
Médio	1994/95	5	0,48	0,10	4,78
Médio	1995/96	2	0,24	0,09	2,61
<b>AMBIENTES ABAIXO DE 700M DE ALTITUDE</b>					
<b>CICLO</b>	<b>SAFRA</b>	<b>NA</b>	<b>QUADRADOS MÉDIOS</b>		<b>RELAÇÃO</b>
			<b>MAXIMO</b>	<b>MINIMO</b>	
Precoce	1994/95	4	0,09	0,06	1,41
Precoce	1995/96	2	0,15	0,12	1,27
Precoce	1996/97	2	0,34	0,15	2,33
Precoce	1997/98	2	0,43	0,33	1,30
Médio	1994/95	2	0,16	0,08	1,95
Médio	1995/96	3	0,31	0,16	1,90

\*NA: Número de ambientes.

Apêndice A5. Relação entre o maior e menor quadrados médios do resíduo do caractere estatura de planta (EP), de genótipos convencionais de soja de ciclos precoce e médio para o período entre as safras 1994/1995 e 2000/2001, para todos os ambientes avaliados.

CICLO	SAFRA	NA*	QUADRADOS MÉDIOS		RELAÇÃO
			MAXIMO	MINIMO	
Precoce	1994/95	11	53,38	19,93	2,68
Precoce	1996/97	9	112,68	20,60	5,47
Precoce	1997/98	5	103,70	17,94	5,78
Precoce	1998/99	7	93,89	16,30	5,76
Precoce	1999/00	5	41,22	16,92	2,44
Precoce	2000/01	16	84,57	22,62	3,74
Médio	1994/95	10	57,02	15,22	3,75
Médio	1998/99	9	71,46	14,84	4,81
Médio	1999/00	6	57,61	19,91	2,89
Médio	2000/01	15	119,00	18,18	6,55

\*NA: Número de ambientes.

Apêndice A6. Relação entre o maior e menor quadrados médios do resíduo da estatura de planta (EP), de genótipos convencionais de soja de ciclos precoce e médio para o período entre as safras 1994/1995 e 2000/2001, para os ambientes acima de 700m de altitude.

CICLO	SAFRA	NA*	QUADRADOS MÉDIOS		RELAÇÃO
			MAXIMO	MINIMO	
Precoce	1994/95	7	42,48	20,45	2,08
Precoce	1996/97	6	112,68	36,21	3,11
Precoce	1997/98	2	103,70	17,94	5,78
Precoce	1998/99	3	64,49	16,30	3,96
Precoce	1999/00	3	30,48	16,92	1,80
Precoce	2000/01	9	84,57	22,62	3,74
Médio	1994/95	6	57,02	22,34	2,55
Médio	1998/99	5	43,45	14,84	2,93
Médio	1999/00	3	24,71	24,05	1,03
Médio	2000/01	10	119,00	18,19	6,54

\*NA: Número de ambientes.

Apêndice A7. Relação entre o maior e menor quadrados médios do resíduo da estatura de planta (EP), de genótipos convencionais de soja de ciclos precoce e médio para o período entre as safras 1994/1995 e 2000/2001, para ambientes abaixo de 700 metros de altitude.

CICLO	SAFRA	NA*	QUADRADOS MÉDIOS		RELAÇÃO
			MAXIMO	MINIMO	
Precoce	1994/95	4	53,38	19,93	2,68
Precoce	1996/97	3	26,91	20,60	1,31
Precoce	1997/98	3	28,10	18,39	1,53
Precoce	1998/99	4	93,89	23,50	3,99
Precoce	1999/00	2	41,22	27,88	1,48
Precoce	2000/01	7	54,55	27,54	1,98
Médio	1994/95	4	34,54	15,22	2,27
Médio	1998/99	4	71,46	23,76	3,01
Médio	1999/00	3	57,61	19,91	2,89
Médio	2000/01	5	47,24	18,18	2,60

\*NA: Número de ambientes.

Apêndice A8. Relação entre o maior e menor quadrados médios do resíduo dos dias de emergência ao florescimento (DEF), de genótipos convencionais de soja de ciclos precoce e médio para o período entre as safras 1994/1995 e 2000/2001, para todos os ambientes avaliados.

CICLO	SAFRA	NA*	QUADRADOS MÉDIOS		RELAÇÃO
			MAXIMO	MINIMO	
Precoce	1994/95	4	3,00	0,47	6,41
Precoce	1995/96	2	3,72	2,15	1,73
Precoce	1996/97	9	1,49	0,98	1,52
Precoce	1997/98	4	27,95	10,70	2,61
Precoce	1998/99	5	2,05	0,54	3,83
Precoce	1999/00	7	3,92	1,49	2,63
Precoce	2000/01	9	6,00	1,00	6,00
Médio	1994/95	4	4,37	1,02	4,28
Médio	1995/96	10	5,58	1,29	4,33
Médio	1998/99	9	4,27	1,20	3,57
Médio	1999/00	9	5,09	1,02	4,98
Médio	2000/01	7	3,17	0,90	3,54

\*NA: Número de ambientes.

Apêndice A9. Relação entre o maior e menor quadrados médios do resíduo dos dias de emergência ao florescimento (DEF), de genótipos convencionais de soja de ciclos precoce e médio para o período entre as safras 1994/1995 e 2000/2001, para os ambientes acima de 700m de altitude.

CICLO	SAFRA	NA*	QUADRADOS MÉDIOS		RELAÇÃO
			MAXIMO	MINIMO	
Precoce	1994/95	3	3,00	0,47	6,34
Precoce	1996/97	6	1,49	1,49	1,00
Precoce	1997/98	3	27,95	10,70	2,61
Precoce	1998/99	3	2,05	1,53	1,34
Precoce	1999/00	4	3,92	3,92	1,00
Precoce	2000/01	4	2,27	1,67	1,36
Médio	1994/95	3	4,37	1,12	3,90
Médio	1995/96	6	1,29	1,29	1,00
Médio	1998/99	5	3,14	1,36	2,31
Médio	1999/00	6	5,09	2,84	1,79
Médio	2000/01	5	2,67	0,98	2,72

\*NA: Número de ambientes.

Apêndice A10. Relação entre o maior e menor quadrados médios do resíduo dos dias de emergência ao florescimento (DEF), de genótipos convencionais de soja de ciclos precoce e médio para o período entre as safras 1994/1995 e 2000/2001, para os ambientes abaixo de 700m de altitude.

CICLO	SAFRA	NA*	QUADRADOS MÉDIOS		RELAÇÃO
			MAXIMO	MINIMO	
Precoce	1994/95	1	0,47	0,47	1,00
Precoce	1995/96	2	3,72	2,15	1,73
Precoce	1996/97	3	0,98	0,98	1,00
Precoce	1997/98	1	-	-	-
Precoce	1998/99	2	1,03	0,54	1,93
Precoce	1999/00	3	2,03	1,49	1,36
Precoce	2000/01	5	6,00	1,00	6,00
Médio	1994/95	1	1,02	1,02	1,00
Médio	1995/96	4	5,58	5,58	1,00
Médio	1998/99	4	4,27	1,20	3,57
Médio	1999/00	3	3,06	1,02	3,00
Médio	2000/01	2	3,17	0,90	3,54

\*NA: Número de ambientes.

Apêndice A11. Relação entre o maior e menor quadrados médios do resíduo dos dias de emergência a maturação (DEM), de genótipos convencionais de soja de ciclos precoce e médio para o período entre as safras 1994/1995 e 2000/2001, para todos os ambientes avaliados.

CICLO	SAFRA	NA*	QUADRADOS MÉDIOS		RELAÇÃO
			MAXIMO	MINIMO	
Precoce	1994/95	7	2,39	0,50	4,75
Precoce	1995/96	5	2,33	0,39	6,00
Precoce	1996/97	6	2,24	1,00	2,25
Precoce	1997/98	4	7,63	3,33	2,29
Precoce	1998/99	6	1,85	0,47	3,92
Precoce	1999/00	3	1,60	0,43	3,71
Precoce	2000/01	11	2,62	0,77	3,40
Médio	1994/95	6	4,58	0,74	6,18
Médio	1995/96	5	3,20	0,90	3,56
Médio	1998/99	6	3,38	0,81	4,19
Médio	1999/00	4	2,89	0,83	3,50
Médio	2000/01	8	3,71	0,57	6,49

\*NA: Número de ambientes.

Apêndice A12. Relação entre o maior e menor quadrados médios do resíduo dos dias de emergência a maturação (DEM), de genótipos convencionais de soja de ciclos precoce e médio para o período entre as safras 1994/1995 e 2000/2001, para os ambientes acima de 700m de altitude.

CICLO	SAFRA	NA*	QUADRADOS MÉDIOS		RELAÇÃO
			MAXIMO	MINIMO	
Precoce	1994/95	5	2,39	0,50	4,75
Precoce	1995/96	3	2,30	0,39	5,93
Precoce	1996/97	4	2,03	1,00	2,03
Precoce	1997/98	2	5,08	3,33	1,53
Precoce	1998/99	3	1,13	0,47	2,40
Precoce	1999/00	1	1,60	1,60	1,00
Precoce	2000/01	6	2,43	1,03	2,36
Médio	1994/95	4	3,91	0,74	5,27
Médio	1995/96	3	2,04	1,90	1,08
Médio	1998/99	4	0,95	0,81	1,17
Médio	1999/00	1	2,89	2,89	1,00
Médio	2000/01	4	3,71	0,57	6,49

\*NA: Número de ambientes.

Apêndice A13. Relação entre o maior e menor quadrados médios do resíduo dos dias de emergência a maturação (DEM), de genótipos convencionais de soja de ciclos precoce e médio para o período entre as safras 1994/1995 e 2000/2001, para os ambientes abaixo de 700m de altitude.

CICLO	SAFRA	NA*	QUADRADOS MÉDIOS		RELAÇÃO
			MAXIMO	MINIMO	
Precoce	1994/95	2	2,17	0,81	2,68
Precoce	1995/96	2	2,33	1,30	1,79
Precoce	1996/97	2	2,24	1,46	1,53
Precoce	1997/98	2	7,63	7,10	1,07
Precoce	1998/99	3	1,85	1,03	1,79
Precoce	1999/00	2	0,75	0,43	1,74
Precoce	2000/01	5	2,62	0,77	3,40
Médio	1994/95	2	4,58	2,82	1,63
Médio	1995/96	2	3,20	0,90	3,56
Médio	1998/99	2	3,38	1,51	2,24
Médio	1999/00	3	2,58	0,83	3,12
Médio	2000/01	4	3,47	0,62	5,58

\*NA: Número de ambientes.

**APÊNDICES - ARTIGO B**

Apêndice B1. Relação entre o maior e menor quadrados médios do resíduo do rendimento de grão ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), de genótipos convencionais e transgênicos de soja de ciclos precoce e médio para o período entre as safras 2001/2002 e 2013/2014, para todos os ambientes avaliados.

CICLO	SAFRA	NA*	QUADRADOS MÉDIOS		RELAÇÃO
			MAXIMO	MINIMO	
Precoce	2001/02	20	419785	83566	5.02
Precoce	2002/03	36	338636	50822	6.66
Precoce	2003/04	18	309095	44586	6.93
Precoce	2004/05	32	302777	57044	5.31
Precoce	2005/06	31	313302	45034	6.96
Precoce	2006/07	39	446345	79277	5.63
Precoce	2007/08	35	422198	61118	6.91
Precoce	2008/09	35	351011	56363	6.23
Precoce	2009/10	33	473610	71888	6.59
Precoce	2010/11	28	664649	101130	6.57
Precoce	2011/12	24	279021	41957	6.65
Precoce	2012/13	30	377190	57055	6.61
Médio	2001/02	34	395759	59249	6.68
Médio	2002/03	37	441100	66033	6.68
Médio	2003/04	18	451647	87024	5.19
Médio	2004/05	34	351952	52923	6.65
Médio	2005/06	33	294275	48353	6.09
Médio	2006/07	38	452880	70108	6.46
Médio	2007/08	32	362211	69215	5.23
Médio	2008/09	32	377772	65448	5.77
Médio	2009/10	33	477226	82614	5.78

\*NA: Número de ambientes.

Apêndice B2. Relação entre o maior e menor quadrados médios do resíduo do rendimento de grão ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), de genótipos convencionais e transgênicos de soja de ciclos precoce e médio para o período entre as safras 1994/1995 e 2000/2001, para ambientes acima de 700 metros de altitude.

CICLO	SAFRA	NA*	QUADRADOS MÉDIOS		RELAÇÃO
			MAXIMO	MINIMO	
Precoce	2001/02	10	419785	98818	4.25
Precoce	2002/03	17	338636	57157	5.92
Precoce	2003/04	9	309095	44586	6.93
Precoce	2004/05	14	302777	57044	5.31
Precoce	2005/06	13	211209	45034	4.69
Precoce	2006/07	14	446345	79277	5.63
Precoce	2007/08	12	422198	71755	5.88
Precoce	2008/09	15	304965	56363	5.41
Precoce	2009/10	11	473610	71888	6.59
Precoce	2010/11	10	538936	101130	5.33
Precoce	2011/12	9	279021	76299	3.66
Precoce	2012/13	15	377190	57103	6.61
Precoce	2013/14	13	365265	73173	4.99
Médio	2001/02	18	395759	59249	6.68
Médio	2002/03	19	441100	82010	5.38
Médio	2003/04	8	399673	93876	4.26
Médio	2004/05	17	351952	52923	6.65
Médio	2005/06	12	290563	48353	6.01
Médio	2006/07	14	452880	70108	6.46
Médio	2007/08	11	362211	71566	5.06
Médio	2008/09	14	377772	76494	4.94
Médio	2009/10	12	477226	92546	5.16

\*NA: Número de ambientes.

Apêndice B3. Relação entre o maior e menor quadrados médios do resíduo do rendimento de grão ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), de genótipos convencionais e transgênicos de soja de ciclos precoce e médio para o período entre as safras 1994/1995 e 2000/2001, para ambientes abaixo de 700 metros de altitude.

CICLO	SAFRA	NA*	QUADRADOS MÉDIOS		RELAÇÃO
			MAXIMO	MINIMO	
Precoce	2001/02	10	354251	83566	4.24
Precoce	2002/03	19	249895	50822	4.92
Precoce	2003/04	9	287317	109623	2.62
Precoce	2004/05	18	257988	58114	4.44
Precoce	2005/06	19	313302	50980	6.15
Precoce	2006/07	25	289184	81126	3.56
Precoce	2007/08	23	334620	61118	5.47
Precoce	2008/09	20	351011	67022	5.24
Precoce	2009/10	22	288103	74753	3.85
Precoce	2010/11	18	664649	133894	4.96
Precoce	2011/12	15	243708	41957	5.81
Precoce	2012/13	15	338719	57055	5.94
Precoce	2013/14	18	362631	59913	6.05
Médio	2001/02	16	382340	79154	4.83
Médio	2002/03	18	245905	66033	3.72
Médio	2003/04	10	451647	87024	5.19
Médio	2004/05	17	342750	57182	5.99
Médio	2005/06	21	294275	69457	4.24
Médio	2006/07	24	319325	70910	4.50
Médio	2007/08	21	338241	69215	4.89
Médio	2008/09	18	322612	65448	4.93
Médio	2009/10	21	301370	82614	3.65

\*NA: Número de ambientes.

Apêndice B4. Relação entre o maior e menor quadrados médios do resíduo do acamamento (AC), de genótipos convencionais e transgênicos de soja de ciclos precoce e médio para o período entre as safras 1994/1995 e 2000/2001, para diferentes ambientes.

CICLO	SAFRA	NA	QUADRADOS MÉDIOS		RELAÇÃO
			MAXIMO	MINIMO	
Precoce	2002/03	14	0.388	0.057	6.85
Precoce	2003/04	7	0.431	0.144	3.00
Precoce	2004/05	17	0.567	0.094	6.01
Precoce	2005/06	18	0.342	0.066	5.20
Precoce	2006/07	22	0.678	0.101	6.71
Precoce	2007/08	16	0.475	0.076	6.28
Precoce	2008/09	17	0.495	0.084	5.90
Precoce	2009/10	15	0.364	0.079	4.63
Precoce	2010/11	24	0.657	0.115	5.72
Precoce	2011/12	11	0.349	0.061	5.75
Precoce	2012/13	17	0.459	0.110	4.18
Precoce	2013/14	14	0.292	0.042	6.89
Médio	2002/03	20	0.454	0.095	4.78
Médio	2003/04	9	0.574	0.142	4.05
Médio	2004/05	17	0.616	0.130	4.74
Médio	2005/06	15	0.514	0.091	5.64
Médio	2006/07	20	0.981	0.202	4.85
Médio	2007/08	12	0.556	0.137	4.06
Médio	2008/09	14	0.488	0.121	4.02
Médio	2009/10	19	0.550	0.080	6.88

\*NA: Número de ambientes.

Apêndice B5. Relação entre o maior e menor quadrados médios do resíduo do acamamento (AC), de genótipos convencionais e transgênicos de soja de ciclos precoce e médio para o período entre as safras 1994/1995 e 2000/2001, para ambientes acima de 700 metros de altitude.

CICLO	SAFRA	NA*	QUADRADOS MÉDIOS		RELAÇÃO
			MAXIMO	MINIMO	
Precoce	2002/03	10	0.388	0.113	3.45
Precoce	2003/04	6	0.431	0.144	3.00
Precoce	2004/05	9	0.567	0.183	3.11
Precoce	2005/06	10	0.334	0.077	4.32
Precoce	2006/07	9	0.511	0.101	5.06
Precoce	2007/08	8	0.441	0.076	5.83
Precoce	2008/09	12	0.495	0.100	4.95
Precoce	2009/10	4	0.364	0.122	2.98
Precoce	2010/11	7	0.593	0.170	3.48
Precoce	2011/12	6	0.349	0.090	3.87
Precoce	2012/13	9	0.459	0.137	3.34
Precoce	2013/14	8	0.267	0.061	4.35
Médio	2002/03	15	0.454	0.095	4.76
Médio	2003/04	8	0.574	0.142	4.05
Médio	2004/05	11	0.616	0.155	3.97
Médio	2005/06	10	0.514	0.117	4.39
Médio	2006/07	9	0.682	0.202	3.38
Médio	2007/08	8	0.544	0.247	2.20
Médio	2008/09	9	0.455	0.121	3.75
Médio	2009/10	11	0.443	0.080	5.54

\*NA: Número de ambientes.

Apêndice B6. Relação entre o maior e menor quadrados médios do resíduo do acamamento (AC), de genótipos convencionais e transgênicos de soja de ciclos precoce e médio para o período entre as safras 1994/1995 e 2000/2001, para ambientes abaixo de 700 metros de altitude.

CICLO	SAFRA	NA*	QUADRADOS MÉDIOS		RELAÇÃO
			MAXIMO	MINIMO	
Precoce	2002/03	4	0.314	0.057	5.54
Precoce	2003/04	1	0.187	0.187	1.00
Precoce	2004/05	8	0.533	0.094	5.64
Precoce	2005/06	8	0.342	0.066	5.20
Precoce	2006/07	13	0.678	0.107	6.32
Precoce	2007/08	8	0.475	0.095	5.00
Precoce	2008/09	5	0.421	0.084	5.02
Precoce	2009/10	11	0.295	0.079	3.75
Precoce	2010/11	17	0.657	0.115	5.72
Precoce	2011/12	5	0.334	0.061	5.50
Precoce	2012/13	8	0.429	0.110	3.91
Precoce	2013/14	6	0.292	0.042	6.89
Médio	2002/03	5	0.324	0.095	3.42
Médio	2003/04	1	0.288	0.288	1.00
Médio	2004/05	6	0.295	0.130	2.27
Médio	2005/06	5	0.449	0.091	4.93
Médio	2006/07	11	0.981	0.261	3.76
Médio	2007/08	4	0.556	0.137	4.06
Médio	2008/09	5	0.488	0.179	2.72
Médio	2009/10	8	0.550	0.090	6.13

\*NA: Número de ambientes.

Apêndice B7. Relação entre o maior e menor quadrados médios do resíduo do caractere estatura de planta (EP), de genótipos convencionais e transgênicos de soja de ciclos precoce e médio para o período entre as safras 1994/1995 e 2000/2001, para todos os ambientes avaliados.

CICLO	SAFRA	NA*	QUADRADOS MÉDIOS		RELAÇÃO
			MAXIMO	MINIMO	
Precoce	2001/02	19	106.70	21.67	4.92
Precoce	2002/03	34	46.68	10.31	4.53
Precoce	2003/04	17	131.50	20.30	6.48
Precoce	2004/05	30	103.51	23.95	4.32
Precoce	2005/06	27	89.37	13.73	6.51
Precoce	2006/07	35	96.84	17.56	5.52
Precoce	2007/08	34	120.77	25.35	4.76
Precoce	2008/09	25	91.44	15.58	5.87
Precoce	2009/10	22	116.62	17.22	6.77
Precoce	2010/11	23	89.47	20.63	4.34
Precoce	2011/12	18	75.16	18.49	4.06
Precoce	2012/13	19	61.26	10.99	5.58
Precoce	2013/14	28	86.42	17.90	4.83
Médio	2001/02	29	113.41	24.54	4.62
Médio	2002/03	34	59.05	12.23	4.83
Médio	2003/04	17	82.98	21.70	3.82
Médio	2004/05	27	97.72	26.11	3.74
Médio	2005/06	28	113.34	24.97	4.54
Médio	2006/07	35	138.79	26.39	5.26
Médio	2007/08	29	113.49	26.44	4.29
Médio	2008/09	17	94.97	24.79	3.83
Médio	2009/10	21	131.80	23.84	5.53

\*NA: Número de ambientes.

Apêndice B8. Relação entre o maior e menor quadrados médios do resíduo da estatura de planta (EP), de genótipos convencionais e transgênicos de soja de ciclos precoce e médio para o período entre as safras 1994/1995 e 2000/2001, para os ambientes acima de 700m de altitude.

CICLO	SAFRA	NA*	QUADRADOS MÉDIOS		RELAÇÃO
			MAXIMO	MINIMO	
Precoce	2001/02	9	88.83	21.67	4.10
Precoce	2002/03	16	46.68	14.11	3.31
Precoce	2003/04	9	49.35	24.34	2.03
Precoce	2004/05	12	86.84	23.95	3.63
Precoce	2005/06	11	89.37	13.73	6.51
Precoce	2006/07	14	96.84	17.56	5.52
Precoce	2007/08	11	117.14	27.04	4.33
Precoce	2008/09	13	91.44	15.83	5.78
Precoce	2009/10	8	69.57	17.22	4.04
Precoce	2010/11	9	79.14	20.63	3.84
Precoce	2011/12	7	75.16	18.49	4.06
Precoce	2012/13	12	61.26	15.82	3.87
Precoce	2013/14	11	49.33	19.19	2.57
Médio	2001/02	16	105.17	24.54	4.28
Médio	2002/03	18	59.05	12.98	4.55
Médio	2003/04	8	82.98	21.71	3.82
Médio	2004/05	12	85.72	26.11	3.28
Médio	2005/06	9	113.34	34.79	3.26
Médio	2006/07	13	117.88	27.52	4.28
Médio	2007/08	10	63.24	26.44	2.39
Médio	2008/09	12	94.97	24.79	3.83
Médio	2009/10	8	125.60	23.84	5.27

\*NA: Número de ambientes.

Apêndice B9. Relação entre o maior e menor quadrados médios do resíduo da estatura de planta (EP), de genótipos convencionais e transgênicos de soja de ciclos precoce e médio para o período entre as safras 1994/1995 e 2000/2001, para ambientes abaixo de 700 metros de altitude.

CICLO	SAFRA	NA*	QUADRADOS MÉDIOS		RELAÇÃO
			MAXIMO	MINIMO	
Precoce	2001/02	10	106.70	32.49	3.28
Precoce	2002/03	18	43.35	10.31	4.21
Precoce	2003/04	8	131.50	20.30	6.48
Precoce	2004/05	18	103.51	26.94	3.84
Precoce	2005/06	15	88.21	19.82	4.45
Precoce	2006/07	21	96.83	29.62	3.27
Precoce	2007/08	23	120.77	25.35	4.76
Precoce	2008/09	12	77.67	15.58	4.98
Precoce	2009/10	14	116.62	21.48	5.43
Precoce	2010/11	14	89.47	21.06	4.25
Precoce	2011/12	11	74.57	20.61	3.62
Precoce	2012/13	7	39.48	10.99	3.59
Precoce	2013/14	17	86.42	17.90	4.83
Médio	2001/02	13	113.41	28.61	3.96
Médio	2002/03	16	55.81	12.23	4.56
Médio	2003/04	9	77.67	21.70	3.58
Médio	2004/05	15	97.72	28.62	3.41
Médio	2005/06	19	102.97	24.97	4.12
Médio	2006/07	22	138.79	26.39	5.26
Médio	2007/08	19	113.49	33.90	3.35
Médio	2008/09	5	77.16	36.26	2.13
Médio	2009/10	13	131.80	25.48	5.17

\*NA: Número de ambientes.

Apêndice B10. Relação entre o maior e menor quadrados médios do resíduo dos dias de emergência ao florescimento (DEF), de genótipos convencionais e transgênicos de soja de ciclos precoce e médio para o período entre as safras 1994/1995 e 2000/2001, para todos os ambientes avaliados.

CICLO	SAFRA	NA*	QUADRADOS MÉDIOS		RELAÇÃO
			MAXIMO	MINIMO	
Precoce	2001/02	8	4.67	1.44	3.24
Precoce	2002/03	21	2.72	0.48	5.68
Precoce	2003/04	7	6.81	1.28	5.31
Precoce	2004/05	15	4.54	0.72	6.30
Precoce	2005/06	14	5.39	1.07	5.03
Precoce	2006/07	16	3.29	0.55	5.99
Precoce	2007/08	23	3.88	0.68	5.72
Precoce	2008/09	14	3.07	0.63	4.85
Precoce	2009/10	12	2.68	0.42	6.39
Precoce	2010/11	15	5.57	1.47	3.78
Precoce	2011/12	13	3.86	0.58	6.65
Precoce	2012/13	17	2.54	0.40	6.34
Precoce	2013/14	14	3.67	0.73	5.01
Médio	2001/02	17	3.89	0.69	5.63
Médio	2002/03	26	5.35	0.82	6.50
Médio	2003/04	8	26.59	5.85	4.54
Médio	2004/05	19	4.83	0.71	6.76
Médio	2005/06	20	3.56	0.61	5.83
Médio	2006/07	18	4.82	0.74	6.55
Médio	2007/08	19	4.70	0.83	5.68
Médio	2008/09	13	8.66	1.47	5.90
Médio	2009/10	7	2.59	1.28	2.02

\*NA: Número de ambientes.

Apêndice B11. Relação entre o maior e menor quadrados médios do resíduo dos dias de emergência ao florescimento (DEF), de genótipos convencionais e transgênicos de soja de ciclos precoce e médio para o período entre as safras 1994/1995 e 2000/2001, para os ambientes acima de 700m de altitude.

CICLO	SAFRA	NA*	QUADRADOS MÉDIOS		RELAÇÃO
			MAXIMO	MINIMO	
Precoce	2001/02	5	4.67	1.44	3.24
Precoce	2002/03	11	2.72	0.50	5.39
Precoce	2003/04	3	6.47	4.28	1.51
Precoce	2004/05	5	3.79	0.72	5.26
Precoce	2005/06	5	5.00	1.11	4.52
Precoce	2006/07	7	3.29	0.55	5.99
Precoce	2007/08	6	3.88	0.96	4.05
Precoce	2008/09	6	3.07	1.22	2.52
Precoce	2009/10	2	1.43	0.89	1.61
Precoce	2010/11	3	5.30	1.48	3.59
Precoce	2011/12	3	0.74	0.58	1.27
Precoce	2012/13	7	2.12	0.53	4.02
Precoce	2013/14	5	2.25	0.73	3.08
Médio	2001/02	11	3.89	0.69	5.63
Médio	2002/03	16	5.35	0.87	6.12
Médio	2003/04	4	26.59	5.89	4.51
Médio	2004/05	6	2.55	0.71	3.57
Médio	2005/06	5	2.47	0.62	3.99
Médio	2006/07	9	4.18	0.74	5.68
Médio	2007/08	5	4.49	0.83	5.43
Médio	2008/09	5	8.66	1.58	5.50
Médio	2009/10	3	2.35	1.67	1.41

\*NA: Número de ambientes.

Apêndice B12. Relação entre o maior e menor quadrados médios do resíduo dos dias de emergência ao florescimento (DEF), de genótipos convencionais e transgênicos de soja de ciclos precoce e médio para o período entre as safras 1994/1995 e 2000/2001, para os ambientes abaixo de 700m de altitude.

CICLO	SAFRA	NA*	QUADRADOS MÉDIOS		RELAÇÃO
			MAXIMO	MINIMO	
Precoce	2001/02	3	3.08	1.71	1.80
Precoce	2002/03	10	2.37	0.48	4.94
Precoce	2003/04	4	6.81	1.28	5.31
Precoce	2004/05	10	4.54	0.75	6.06
Precoce	2005/06	10	5.39	1.07	5.03
Precoce	2006/07	9	3.15	0.73	4.32
Precoce	2007/08	17	3.77	0.68	5.56
Precoce	2008/09	8	2.90	0.63	4.57
Precoce	2009/10	10	2.68	0.42	6.39
Precoce	2010/11	12	5.57	1.47	3.78
Precoce	2011/12	10	3.86	0.63	6.16
Precoce	2012/13	10	2.54	0.40	6.34
Precoce	2013/14	9	3.67	0.84	4.39
Médio	2001/02	6	3.16	0.71	4.45
Médio	2002/03	10	4.87	0.82	5.92
Médio	2003/04	4	25.17	5.85	4.30
Médio	2004/05	13	4.83	0.79	6.12
Médio	2005/06	15	3.56	0.61	5.83
Médio	2006/07	9	4.82	0.80	6.02
Médio	2007/08	14	4.70	0.90	5.23
Médio	2008/09	8	8.34	1.47	5.68
Médio	2009/10	4	2.59	1.28	2.02

\*NA: Número de ambientes.

Apêndice B13. Relação entre o maior e menor quadrados médios do resíduo dos dias de emergência a maturação (DEM), de genótipos convencionais e transgênicos de soja de ciclos precoce e médio para o período entre as safras 1994/1995 e 2000/2001, para todos os ambientes avaliados.

CICLO	SAFRA	NA*	QUADRADOS MÉDIOS		RELAÇÃO
			MAXIMO	MINIMO	
Precoce	2001/02	9	21.61	4.19	5.16
Precoce	2002/03	17	6.85	1.34	5.10
Precoce	2003/04	14	6.88	1.04	6.59
Precoce	2004/05	13	6.34	1.04	6.10
Precoce	2005/06	16	6.30	1.01	6.23
Precoce	2006/07	19	3.56	0.58	6.18
Precoce	2007/08	15	14.39	2.48	5.80
Precoce	2008/09	15	4.67	0.70	6.67
Precoce	2009/10	13	6.35	1.06	5.98
Precoce	2010/11	14	13.29	2.47	5.38
Precoce	2011/12	15	4.50	0.64	6.98
Precoce	2012/13	15	3.55	0.74	4.82
Precoce	2013/14	17	7.12	1.23	5.80
Médio	2001/02	14	4.90	1.06	4.61
Médio	2002/03	19	5.54	1.02	5.45
Médio	2003/04	13	6.97	1.09	6.41
Médio	2004/05	16	5.98	1.04	5.75
Médio	2005/06	16	4.50	0.93	4.84
Médio	2006/07	16	6.37	1.18	5.40
Médio	2007/08	15	13.94	2.24	6.22
Médio	2008/09	16	4.56	0.72	6.31
Médio	2009/10	15	6.11	0.92	6.66

\*NA: Número de ambientes.

Apêndice B14. Relação entre o maior e menor quadrados médios do resíduo dos dias de emergência a maturação (DEM), de genótipos convencionais e transgênicos de soja de ciclos precoce e médio para o período entre as safras 1994/1995 e 2000/2001, para os ambientes acima de 700m de altitude.

CICLO	SAFRA	NA*	QUADRADOS MÉDIOS		RELAÇÃO
			MAXIMO	MINIMO	
Precoce	2001/02	4	21.61	4.19	5.16
Precoce	2002/03	7	5.51	1.44	3.82
Precoce	2003/04	7	6.57	1.65	3.97
Precoce	2004/05	5	4.17	1.04	4.01
Precoce	2005/06	5	5.86	1.01	5.80
Precoce	2006/07	9	2.47	0.58	4.29
Precoce	2007/08	2	12.16	2.48	4.90
Precoce	2008/09	7	3.77	0.70	5.39
Precoce	2009/10	6	4.82	1.06	4.53
Precoce	2010/11	4	12.69	2.97	4.28
Precoce	2011/12	3	1.18	0.97	1.22
Precoce	2012/13	8	3.10	0.74	4.21
Precoce	2013/14	5	6.09	1.43	4.26
Médio	2001/02	8	4.54	1.06	4.27
Médio	2002/03	6	5.54	1.02	5.45
Médio	2003/04	6	6.97	1.63	4.29
Médio	2004/05	7	5.80	1.04	5.58
Médio	2005/06	5	3.27	0.93	3.51
Médio	2006/07	6	6.36	1.72	3.69
Médio	2007/08	2	4.22	2.24	1.88
Médio	2008/09	7	4.56	0.72	6.31
Médio	2009/10	7	5.35	0.92	5.83

\*NA: Número de ambientes.

Apêndice B15. Relação entre o maior e menor quadrados médios do resíduo dos dias de emergência a maturação (DEM), de genótipos convencionais e transgênicos de soja de ciclos precoce e médio para o período entre as safras 1994/1995 e 2000/2001, para os ambientes abaixo de 700m de altitude.

CICLO	SAFRA	NA*	QUADRADOS MÉDIOS		RELAÇÃO
			MAXIMO	MINIMO	
Precoce	2001/02	5	9.45	6.13	1.54
Precoce	2002/03	10	6.85	1.34	5.10
Precoce	2003/04	7	6.88	1.04	6.59
Precoce	2004/05	8	6.34	1.63	3.90
Precoce	2005/06	12	6.30	1.14	5.54
Precoce	2006/07	10	3.56	0.69	5.18
Precoce	2007/08	13	14.39	2.49	5.77
Precoce	2008/09	8	4.67	1.15	4.07
Precoce	2009/10	7	6.35	2.01	3.16
Precoce	2010/11	10	13.29	2.47	5.38
Precoce	2011/12	12	4.50	0.64	6.98
Precoce	2012/13	7	3.55	0.94	3.77
Precoce	2013/14	12	7.12	1.23	5.80
Médio	2001/02	6	4.90	1.39	3.53
Médio	2002/03	13	3.59	1.15	3.12
Médio	2003/04	7	3.29	1.09	3.02
Médio	2004/05	9	5.98	2.23	2.69
Médio	2005/06	11	4.50	1.06	4.25
Médio	2006/07	10	6.37	1.18	5.40
Médio	2007/08	13	13.94	2.83	4.92
Médio	2008/09	9	4.47	1.01	4.43
Médio	2009/10	8	6.11	1.08	5.68

\*NA: Número de ambientes.