



ITAMARA MEZZALIRA

**GANHO GENÉTICO PARA PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DE
SOJA NA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL**

LAVRAS – MG

2017

ITAMARA MEZZALIRA

**GANHO GENÉTICO PARA PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DE SOJA NA REGIÃO
CENTRAL DO BRASIL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação do Mestrado Profissional em Genética e Melhoramento de Plantas, área de concentração em Genética e Melhoramento de Plantas, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. João Bosco dos Santos
Orientador

Dr. Welcimar Gonçalves da Cunha
Coorientador

**LAVRAS – MG
2017**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA,
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Mezzalira, Itamara.

Ganho genético para produtividade de grãos de soja na região
central do Brasil / Itamara Mezzalira. - 2017.

44 p.

Orientador: João Bosco dos Santos.

Coorientador: Welcimar Gonçalves da Cunha.

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Federal de
Lavras, 2017.

Bibliografia.

1. Ganho Genético. 2. Soja. 3. Produtividade de grãos. I. dos
Santos, João Bosco. II. da Cunha, Welcimar Gonçalves. III. Título.

ITAMARA MEZZALIRA

**GANHO GENÉTICO PARA PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DE SOJA NA REGIÃO
CENTRAL DO BRASIL**

SOYBEAN GENETIC GAIN FOR YIELD IN CENTRAL BRAZIL

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação do Mestrado Profissional em Genética e Melhoramento de Plantas, área de concentração em Genética e Melhoramento de Plantas, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 26 de abril de 2017.

Prof. Dr. João Bosco dos Santos	UFLA
Prof. Dr. Adriano Bruzi	UFLA
Dr. Welcimar Gonçalves da Cunha	DuPont Pioneer

Prof. Dr. João Bosco dos Santos
Orientador

LAVRAS – MG

2017

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas - Mestrado Profissional da Universidade Federal de Lavras e à DuPont Pioneer pela oportunidade.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas - Mestrado Profissional, da Universidade Federal de Lavras, em especial ao meu orientador Professor João Bosco dos Santos, que se dispuseram a dedicar seu tempo e compartilhar seu conhecimento na formação dos profissionais da área de melhoramento de plantas.

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG, pelo apoio financeiro fornecido ao Programa de Mestrado Profissional em Genética e Melhoramento de Plantas.

Ao colega e amigo Eder David Borges da Silva, pelo auxílio fundamental na análise dos dados, sem o qual o presente trabalho não teria sido possível.

Aos alunos do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas que foram monitores das disciplinas do mestrado profissional, em especial ao Rafael Nalin, Rafael Pereira, Indalécio e Camila, pela dedicação e paciência.

Aos colegas da turma do mestrado profissional pelo companheirismo, em especial, a Keila pela amizade que fez os dias em Lavras mais leves e divertidos.

Aos colegas e amigos da DuPont Pioneer, pelas mais diversas contribuições, em especial ao Welcimar pela amizade e incentivo.

Aos amigos e à família, que tornaram esta caminhada mais amena e prazerosa. Ao meu amado Luiz pelo amor, paciência, incentivo, compreensão e amizade que fazem a vida alegre.

RESUMO

A soja é um dos principais produtos do agronegócio brasileiro, com área plantada de cerca de 30 milhões de hectares, o que proporciona uma grande diversidade de ambientes e destaca a importância do melhoramento genético no papel de obter cultivares produtivas e adaptadas aos diferentes ambientes de cultivo. O sucesso de um programa de melhoramento genético pode ser aferido pelo número de cultivares lançadas pela adoção dessas cultivares pelos produtores, pelo lucro obtido pela comercialização de sementes e pela estimativa do ganho genético ao longo dos anos. Para obter o ganho genético para produtividade de grãos de soja do grupo de maturação 8, nas macrorregiões sojícolas 3 e 4, foram analisados resultados obtidos em 204 ensaios de valor de cultivo e uso entre as safras de 2006/07 a 2015/16. A produtividade média de grãos de soja, ao longo do período analisado foi de 3118 kg ha⁻¹. A grande maioria dos experimentos apresentou coeficiente de variação experimental menor do que 15% e acurácia seletiva maior do que 0,70, demonstrando elevada qualidade e precisão experimental. A taxa de substituição dos genótipos, ao longo dos biênios analisados, teve variação entre 29,41% a 77,78%. O ganho genético anual para genótipos de soja do grupo de maturação 8, no período de 2006/07 e 2015/16, nas macrorregiões sojícolas 3 e 4, foi de 18,3 kg ha⁻¹ ano⁻¹ ou 0,59% ao ano em relação à média dos experimentos analisados. Os componentes de efeito ambiental, de efeito de interação e de erro experimental foram significativos e de grande magnitude, o que dificulta a obtenção dos valores genéticos reais dos genótipos avaliados e dificulta o cálculo do ganho genético.

Palavras-chave: *Glycine max*. Melhoramento genético. VCU.

ABSTRACT

Soybean is one of the main products of the Brazilian agribusiness, with a planted area of about 30 million hectares, which provides a great diversity of environments and highlights the importance of breeding programs in obtaining high yielding varieties that are adapted to different growing environments. The success of a breeding program can be measured by the number of cultivars released, the adoption of these cultivars by the producers, the profit obtained with the marketing of seeds and measuring the genetic gain obtained by the program over the years. In order to measure the genetic gain for soybean grain yield, from maturation group 8 lines, in the Brazilian soybean macro-regions 3 and 4, results obtained in 204 VCU trials between season 2006/07 and 2015/16, were analyzed. The average yield of soybeans in the analyzed period was 3118 kg ha⁻¹. The majority of experiments had a coefficient of experimental variation lower than 15% and selective accuracy higher than 0.70, demonstrating high quality and experimental precision. The replacement rate of the genotypes over the analyzed years ranged between 29.41% and 77.78%. The annual genetic gain for soybean genotypes of maturation group 8, between season 2006/07 and 2015/16, in the Brazilian soybean macro-regions 3 and 4, was 18.3 kg ha⁻¹ year⁻¹ or 0.59% in relation to the mean of the experiments analyzed. The components of environmental effect, interaction effect and experimental error were significant and of great magnitude, which makes it difficult to obtain the real genetic values of the evaluated genotypes and makes it difficult to calculate the genetic gain. The varieties and lines considered in this study have higher productive potentials and are the results of enormous contributions of the genetic improvement, a condition in which the gains conferred by the genetic breeding tend to reduce.

Key words: *Glycine max.* Breeding. VCU.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Área ocupada com cultivo de soja no Brasil e expansão da cultura a partir de 1970.....	13
Figura 2 - Macrorregiões de produção de soja no Brasil e respectivas regiões edafoclimáticas.....	14
Figura 3 - Regressão da produtividade média de grãos de soja no Brasil, em kg ha ⁻¹ , no período de 1976/77 a 2015/16.....	17
Figura 4 - Macrorregião sojícola 3 e as quatro regiões edafo-climáticas que a compõe.....	20
Figura 5 - Macrorregião sojícola 4 e as cinco regiões edafo-climáticas que a compõe.....	21
Figura 6 - Comparativo entre a produtividade média de grãos de soja obtida nos VCUs das safras 2006/07 a 2015/16 nas MRS 3 e 4 e a produtividade média de grãos de soja fornecidas pela CONAB para as regiões Centro-Oeste e Sudeste do Brasil.....	24
Figura 7 - Coeficientes de variação experimental (%) das análises de variância de produtividade de grãos dos 204 ensaios de VCU conduzidos nas MRS 3 e 4, entre as safras de 2006/07 e 2015/16.....	25
Figura 8 - Acurácia seletiva para as análises de variância de produtividade de grãos, observados nos 204 ensaios de VCU utilizados neste estudo, conduzidos nas MRS 3 e 4, entre as safras de 2006/07 e 2015/16.....	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Número de observações realizadas por ano em cada MRS.....	20
Tabela 2 - Produtividade média de grãos (em kg ha ⁻¹ , corrigidos a 13% de umidade), total de observações e número de locais dos ensaios de VCU entre as safras 2006/07 e 2015/16.	23
Tabela 3 - Número de genótipos comuns entre duas safras consecutivas (NC), número total de genótipos analisados na safra 1 (NS1), número total de genótipos avaliados na safra 2 (NS2) e taxa de substituição (TS) de genótipos da safra 1 para a safra 2.....	27
Tabela 4 - Estimativas dos componentes de variâncias (σ^2) associadas aos efeitos do modelo estatístico (θ), com respectivos desvios padrão (S), para as macrorregiões sojícolas 3 e 4.	29
Tabela 5 - Valores genéticos médios (BLUPs) dos genótipos testados em cada uma das safras (u), variância associada ao valor de u (Vu), ganho genético (Gg) em kg ha ⁻¹ e %, intervalo de confiança (IC) e p-value do para o ganho genético.....	30

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1	O cultivo de soja no Brasil	12
2.2	Métodos de estimativa do progresso genético	15
2.3	Ganho genético em soja	16
3	MATERIAL E MÉTODOS	19
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
5	CONCLUSÃO	33
	REFERÊNCIAS	34
	ANEXO A – DETALHES DOS EXPERIMENTOS DE VCU CONDUZIDOS ENTRE AS SAFRAS 2006/07 E 2015/16	37

1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* Merr.) é uma espécie anual, dicotiledônea e leguminosa (Fabaceae) que desempenha importante papel no fornecimento de alimentação humana, animal e de combustível para a população mundial. É a quarta espécie mais cultivada no mundo, atrás do milho, arroz e trigo. Na safra 2014/15, a estimativa de área plantada com a cultura no mundo foi de cerca de 117 milhões de hectares, com produção de mais de 300 milhões de toneladas de grãos. Os Estados Unidos é o principal país produtor, seguido pelo Brasil, Argentina e China (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS STATISTICS, 2017). Os altos teores de óleo e proteína encontrados nas sementes fazem da cultura uma importante fonte de energia e de aminoácidos essenciais (WILSON, 2008).

No Brasil, a produtividade média da soja tem aumentado, desde meados da década de 1970, a uma taxa média de 42,103 kg ha⁻¹ ano⁻¹ (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2017a). O aumento da produção e da capacidade competitiva da soja brasileira está intimamente ligado aos avanços científicos, à disponibilização de tecnologias, ao setor produtivo e à adoção de tecnologias pelos agricultores (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2013). Esse aumento observado na produção, na produtividade e na capacidade competitiva da soja brasileira, principalmente a partir da década de 70, é um dos exemplos clássicos da contribuição da pesquisa agrícola e, mais especificamente, do melhoramento genético para a agricultura e para a sociedade (RAMALHO, 2010; SPEHAR, 1994; TOLEDO et al., 1990).

Atualmente, no Brasil, a soja é cultivada em aproximadamente 30 milhões de hectares (CONAB, 2017a), o que proporciona um ambiente de cultivo extremamente diverso e destaca ainda mais a importância dos programas de melhoramento de soja no papel fundamental de obter cultivares produtivas e adaptadas às mais diversas regiões de cultivo. Tendo em vista o papel fundamental do melhoramento genético na viabilização das culturas, pode-se dizer que o sucesso dos programas de melhoramento tem impacto direto na melhoria da competitividade do setor produtivo.

Existem diferentes maneiras de medir o sucesso de um programa de melhoramento. Uma delas é o número de cultivares lançadas pelo programa e a adoção dessas cultivares pelos produtores, outra é o lucro obtido pela comercialização de sementes das cultivares lançadas pelo programa, e uma terceira alternativa é a medida do ganho genético obtido pelo programa ao longo dos anos (ABREU et al., 1994). As primeiras duas alternativas avaliam a

eficiência não apenas do programa de melhoramento, mas do processo de difusão de cultivares (ABREU et al., 1994) e do poder de marketing das empresas. A estimativa do progresso genético obtido ao longo de um determinado período de tempo, por sua vez, é capaz de avaliar a eficiência do programa de melhoramento e fornece informações valiosas que possibilitam o planejamento, a avaliação das estratégias adotadas no programa de melhoramento, indicando a possibilidade de manutenção ou a necessidade de mudanças dessas estratégias (ALLIPRANDINI et al., 1993; LANGE; FEDERIZZI, 2009; TOLEDO et al., 1990).

Diferentes métodos podem ser empregados para estimar o progresso genético dos programas de melhoramento. Os métodos diretos avaliam em um mesmo experimento cultivares lançadas ao longo do período para o qual se deseja estimar o progresso genético. Os métodos indiretos utilizam as informações já disponíveis a partir dos ensaios realizados pelo programa para testar linhagens. A estimativa do progresso genético pelos métodos indiretos é particularmente interessante, uma vez que evita a geração de um custo extra na condução de ensaios específicos para esta finalidade (VENCOVSKY et al., 1986).

Neste estudo, objetivou-se estimar o ganho genético para o caráter produtividade de grãos de soja do grupo de maturação 8, nas macrorregiões sojícolas 3 e 4, no período compreendido entre as safras 2006/07 e 2015/16.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O cultivo de soja no Brasil

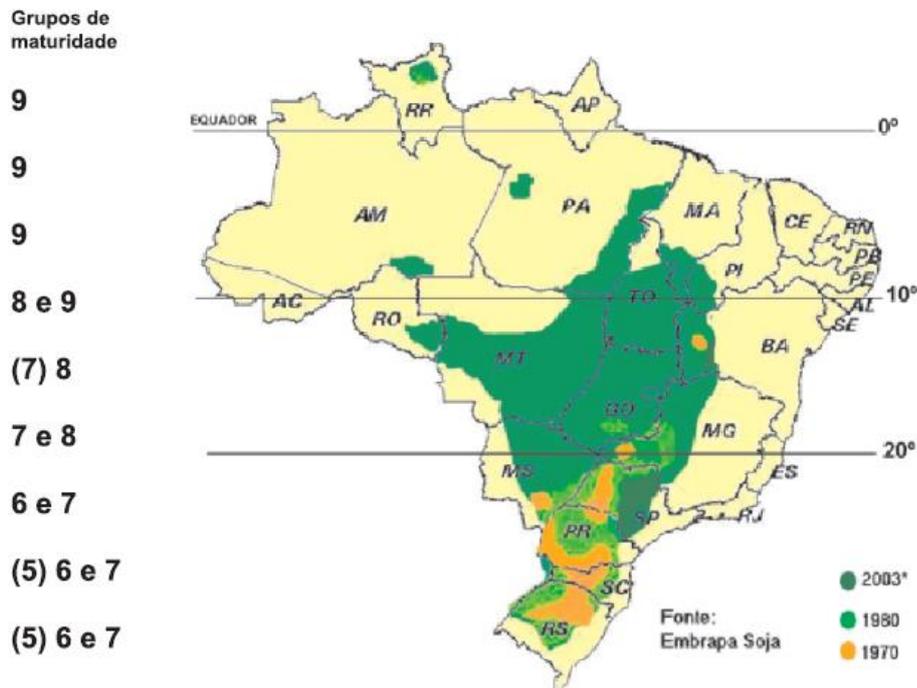
A soja foi introduzida no Brasil via Estados Unidos, no ano de 1882, por intermédio do então professor da Escola de Agronomia da Bahia Gustavo Dutra, que realizou os primeiros estudos de avaliação de cultivares no país. No ano de 1891, o Instituto Agrônomo de Campinas, conduziu mais ensaios de avaliação de cultivares, também utilizando genótipos introduzidos dos Estados Unidos. No estado do Rio Grande do Sul, datam do início do século XX os registros do primeiro cultivo de soja. Nessa época, a soja era estudada e utilizada como uma cultura forrageira, cuja produção de grãos era usada eventualmente para alimentação animal (EMBRAPA, 2013).

Foi só a partir da década de 1960 que a soja se estabeleceu como uma cultura de importância econômica no Brasil, mas seu cultivo ainda estava restrito ao estado do Rio Grande do Sul. Na década de 1970, o cultivo da soja se expandiu para os outros estados da região Sul do Brasil e apresentou um crescimento impressionante, passando de 1,5 milhões de toneladas em 1970 para mais de 15 milhões de toneladas em 1979, se consolidando como uma das principais culturas do agronegócio brasileiro. A expansão da soja para outras regiões do Brasil continuou nas décadas seguintes e, em 1980, a região Centro-Oeste já era responsável por 20% da produção nacional de soja, passando para mais de 40% na década de 1990 (EMBRAPA, 2013). Na Figura 1, mostra-se a distribuição aproximada da área ocupada com o cultivo de soja no Brasil, bem como expansão da cultura a partir da década de 1970.

Atualmente, a soja continua a figurar entre os principais produtos agrícolas do Brasil, sendo o país o segundo maior produtor mundial da oleaginosa (FAOSTAT, 2017). Na safra de 2015/2016, a cultura ocupou uma área de mais de 33 milhões de hectares, totalizando uma produção de cerca de 95 milhões de toneladas, com produtividade média de 2.870 kg ha⁻¹. A principal região produtora de soja no Brasil é a Centro-Oeste, que corresponde a aproximadamente 45% da área plantada e da produção nacional. O estado do Mato Grosso se destaca como o maior estado produtor brasileiro, sendo responsável por 27% da produção nacional (CONAB, 2017b).

O aumento da produção e da capacidade competitiva da soja brasileira está intimamente ligado aos avanços científicos, à disponibilização de tecnologias ao setor produtivo e à adoção de tecnologias pelos agricultores (EMBRAPA, 2013). Nesse contexto, o melhoramento de soja teve importância fundamental na expansão da cultura, especialmente na região do central do Brasil.

Figura 1 - Área ocupada com cultivo de soja no Brasil e expansão da cultura a partir de 1970.



Fonte: Garcia et al. (2007).

A soja foi domesticada na China por centenas de milhares de anos entre latitudes de 30° a 45° norte e é uma planta sensível à variação do fotoperíodo, classificada como uma planta de dias curtos (noites longas). Originalmente, quando plantada em baixas latitudes a soja floresce precocemente, não permitindo o desenvolvimento vegetativo adequado e resultando em baixa produtividade de grãos, o que inviabiliza o seu cultivo para fins comerciais (CARPENTIERI-PÍPOLO; ALMEIDA; KIIHL, 2002; DESTRO et al., 2001). A pesquisa brasileira conseguiu romper essa limitação com a introdução de cultivares com período juvenil longo, um fenótipo que retarda a sensibilidade das cultivares em relação ao fotoperíodo e permite o cultivo em latitudes iguais ou menores que 15° (CARPENTIERI-PÍPOLO; ALMEIDA; KIIHL, 2002; SPEHAR, 1994).

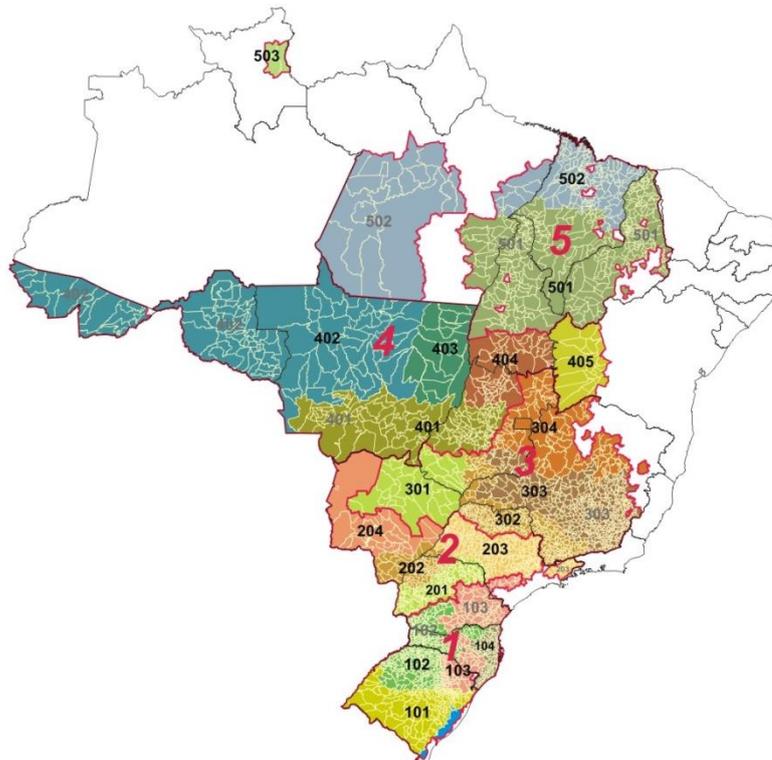
Atualmente, a soja é cultivada, no Brasil e no mundo, por meio de um amplo intervalo de latitudes, mas apesar dessa ampla adaptação da espécie, a área de adaptação de cada cultivar é restrita a uma faixa latitudinal estreita (WATANABE; HARADA; ABE, 2012) e varia à medida que se desloca para o sul ou para o norte. Em decorrência desse fato, a classificação de uma cultivar de soja em tardia, média ou precoce, só é válida dentro da sua faixa de adaptação, pois uma cultivar tardia na região sul se torna precoce no Brasil central.

Visando a padronizar a classificação das cultivares de soja, foi proposto nos Estados Unidos, um sistema de classificação que divide as regiões de cultivo em faixas latitudinais e

estabelece valores de maturidade relativa às cultivares adaptadas a cada uma dessas faixas. Esses valores variam de 0 a 10, sendo que quanto mais próximo de 10 mais próxima a linha do equador é a sua região de adaptação (FIGURA 1).

Ainda, buscando uma regionalização para a realização dos ensaios de valor de cultivo e uso (VCUs), que são requeridos nas normas para a o registro de uma nova cultivar no Registro Nacional de Cultivares (RNC), foi proposta a divisão do Brasil em cinco macrorregiões de cultivo de soja (MRS): Macrorregião 1 - Sul, Macrorregião 2 - Centro-Sul, Macrorregião 3 - Sudeste, Macrorregião 4 - Centro-Oeste e Macrorregião 5 - Nordeste / Norte. Essas macrorregiões foram subdivididas em regiões edafoclimáticas, com base na sua similaridade de clima e solo (FIGURA 2) (KASTER; FARIAS, 2012).

Figura 2 - Macrorregiões de produção de soja no Brasil e respectivas regiões edafoclimáticas.



Fonte: Kaster e Farias (2012).

O ambiente de cultivo extremamente diverso, demonstrado no mapa da Figura 2, juntamente com as condições de clima do Brasil, que favorecem a ocorrência de pragas e doenças, constroem um cenário de infinitas oportunidades e bastante desafiador para o melhoramento genético de soja e, também, destacam a importância fundamental dessa atividade para a melhoria da competitividade do setor produtivo.

2.2 Métodos de estimativa do progresso genético

A estimativa do progresso genético fornece informações importantes para avaliar a eficiência do programa de melhoramento. A obtenção dessa estimativa pode ajudar no planejamento e na avaliação das estratégias adotadas no programa de melhoramento, indicando a possibilidade de manutenção ou a necessidade de mudanças (ALLIPRANDINI et al., 1993; TOLEDO et al., 1990).

Diferentes métodos podem ser empregados para estimar o progresso genético dos programas de melhoramento. O método direto avalia em um mesmo ano agrícola e em vários ambientes, genótipos lançados ao longo do período para o qual se deseja obter essa estimativa. Diversos pesquisadores têm empregado o método direto para estimar o progresso genético na cultura da soja, especialmente nos Estados Unidos (KOESTER et al., 2014; RUBIN; SANTOS, 1996; SUHRE et al., 2014).

Os métodos indiretos utilizam as informações já disponíveis a partir dos ensaios realizados pelo programa de melhoramento para testar as linhagens. A estimativa do progresso genético pelos métodos indiretos é particularmente interessante, uma vez que evita a geração de um custo extra na condução de ensaios específicos para esta finalidade (VENCOVSKY et al., 1986).

Foi proposto por Vencovsky et al. (1986) um dos métodos de estimativa de progresso genético mais empregado para avaliar a contribuição do melhoramento genético para diferentes culturas no Brasil, como feijão (ABREU et al., 1994), soja (ALLIPRANDINI et al., 1993; LANGE; FEDERIZZI, 2009; TOLEDO et al., 1990) e trigo (CARGNIN, 2007). Nesse método, são utilizados dados experimentais de avaliação de cultivares, e a diferença entre a produtividade média dos tratamentos comuns, a cada par de anos, é utilizada para estimar o efeito do ano. O ganho genético anual é obtido pela diferença entre a produtividade média dos genótipos não comuns de um ano e a do ano imediatamente anterior, excluindo-se o efeito do ano. Da metodologia originalmente proposta, surgiram algumas modificações conforme Abreu et al. (1994), Breseghello et al. (1998), Fernandes (1988), Fonseca Junior (1997) e Morais e Abbud (1993), e sendo que todas as metodologias são baseadas em inferência por mínimos quadrados (MQ).

A inferência por mínimos quadrados é uma estimativa baseada em valores fenotípicos, que, em situações de desbalanceamento de dados e inserção/retirada de efeitos (locais e genótipos, por exemplo), não costumam ser uma estimativa fiel do valor genético real dos tratamentos (BORGES et al., 2009). Em ensaios de VCU, situações de desbalanceamento são

extremamente comuns, bem como a substituição de genótipos e mudança de locais, ao longo dos anos, sendo que, nesses casos, a predição do valor genético real dos tratamentos por meio do procedimento BLUP (melhor predição linear não viesada) é uma opção melhor que MQ (BORGES et al., 2009; PIEPHO, 1994). Baseado nisso, Borges et al. (2009) propuseram o cálculo de ganho genético para a cultura do arroz em terras altas, com metodologia baseada em modelos mistos, com estimação dos componentes de variância e predição dos valores genéticos por meio das técnicas REML/BLUP. Neste modelo, os autores calcularam o valor genético (BLUP) de cada tratamento e considerando um ano agrícola como referência, determinaram os valores genotípicos dos novos genótipos inseridos nos anos posteriores. A estimativa do ganho genético se dá pela diferença da média dos genótipos de um determinado ano pela média daqueles do ano imediatamente anterior.

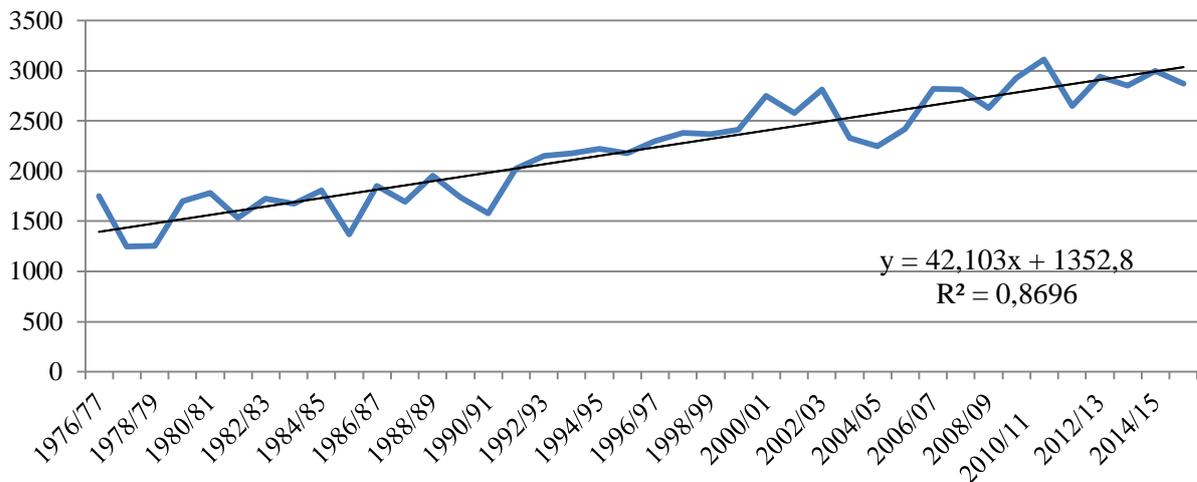
2.3 Ganho genético em soja

Observações feitas pelos agricultores e resultados de pesquisas científicas indicam que a produtividade da soja no Brasil e no mundo tem aumentado ao longo do tempo.

De acordo com dados da CONAB (2017a), na safra de 1976/1977, a produtividade média de grãos de soja no Brasil era de 1748 kg ha⁻¹, já na safra de 2015/16, a produtividade média foi de 2.870 kg ha⁻¹. A regressão da produtividade média ao longo dessas 40 safras indica um valor linear de 42,103 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de aumento de produtividade (FIGURA 3).

Nos Estados Unidos, no período de 1924 a 2011, o incremento da produtividade de soja ocorreu em uma taxa média de 23,4 kg ha⁻¹ ano⁻¹, sendo que, de 1972 a 1997, esse incremento foi de 31,44 kg ha⁻¹ ano⁻¹ (SUHRE et al., 2014).

Figura 3 - Regressão da produtividade média de grãos de soja no Brasil, em kg ha⁻¹, no período de 1976/77 a 2015/16.



Fonte: Adaptado de CONAB (2017a).

A produtividade da soja é uma expressão fenotípica formada a partir da interação dos genótipos com os ambientes onde eles são cultivados, ou seja, é uma combinação do potencial genético das plantas, das práticas agronômicas empregadas e das condições ambientais. Sendo assim, pode-se dizer que o melhoramento genético e as melhorias nas práticas agronômicas têm contribuído para esse aumento da produtividade observado ao longo do tempo. Uma vez que ambos ocorreram de maneira concomitante, é difícil estimar a proporção com que cada um contribuiu, porém o mais provável é que há uma relação sinérgica entre esses fatores (SUHRE et al., 2014).

Com o objetivo de determinar a interação entre a população de plantas por hectare e o ganho genético de produtividade da soja, Suhre et al. (2014) compararam 116 cultivares (59 cultivares do grupo de maturação II e 57 cultivares do grupo de maturação III) lançadas no mercado americano nos últimos 80 anos, conduzidas sob alta densidade de plantas (311 mil plantas ha⁻¹) e baixa densidade de plantas (94 mil plantas ha⁻¹). Os resultados obtidos pelos autores indicam que, para o grupo de cultivares testadas, a produtividade aumentou de acordo com o ano de lançamento, tanto nas condições de baixa quanto de alta densidade de plantas. Os autores observaram que em alta densidade de plantas ha⁻¹, o aumento da produtividade foi 4,8 kg ha⁻¹ ano⁻¹ maior que na condição de baixa densidade (24,1 +/- 1,2 kg ha⁻¹ ano⁻¹ versus 19,3 +/- 1,3 kg ha⁻¹ ano⁻¹), indicando que houve uma relação sinérgica entre o ganho genético para produtividade de grãos e as melhorias nas práticas agronômicas representadas pelo aumento da densidade de plantas ha⁻¹.

Specht, Hume e Kumudini (1999) analisaram diversos trabalhos acerca do ganho de produtividade da soja nos Estados Unidos e estimaram que cerca de 50% do aumento foi decorrente do melhoramento genético, sendo os outros 50% decorrentes das melhorias nas práticas agronômicas, como plantio adiantado, espaçamento reduzido, melhor controle de plantas daninhas e redução nas perdas durante a colheita.

Alliprandini et al. (1993) e Toledo et al. (1990) empregaram o método proposto por Vencovsky et al. (1986) para avaliar a eficiência dos programas de melhoramento genético de soja no Paraná, nos períodos de 1981 a 1986 e 1986 a 1990, respectivamente. Em ambos os trabalhos, foram utilizados os dados obtidos nos testes da rede oficial de avaliação de linhagens dos grupos precoce e semiprecoce daquele estado. Os resultados obtidos apontaram para ganhos genéticos na ordem de 1,8% para os genótipos de maturação precoce e 1,3% para os genótipos de maturação semiprecoce, o que corresponde a um ganho médio anual de 45,1 e 36,8 kg ha⁻¹, respectivamente, no período de 1981 a 1986 (TOLEDO et al., 1990). Para o período de 1986 a 1990 os ganhos observados decresceram, e foram de 0,89% para os genótipos de maturação precoce e de 0,38% para os genótipos de maturação semiprecoce, o que corresponde a um ganho médio anual de 24,16 e 10,83 kg ha⁻¹, respectivamente (ALLIPRANDINI et al., 1993).

Rubin e Santos (1996) utilizaram o método direto para avaliar o progresso genético obtido pelo melhoramento de soja no estado do Rio Grande do Sul, no período compreendido entre as décadas de 1960 e 1990, considerando ambientes de menor e maior produtividade. Os autores conduziram um experimento, utilizando 21 cultivares representativas dos diferentes grupos de maturidade e dos períodos em que foram mais cultivadas no estado. Os resultados indicaram que, na média dos três ambientes, o ganho genético no período foi 44%, correspondendo a um ganho anual de 19 kg ha⁻¹. Os maiores aumentos de rendimento ocorreram nas décadas de 1960 e 1970, com 24% e 11%, respectivamente (RUBIN; SANTOS, 1996).

Utilizando resultados de rendimento de grãos de 20 anos de experimentos de avaliação de linhagens derivadas de quatro programas de melhoramento de soja, Lange e Federizzi (2009) estimaram 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. Os ganhos estimados variaram de 0,87% (18,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹) a 3,49% (71,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹), dependendo da região e do grupo de maturação, sendo que a maioria ficou entre 1,01 e 1,27%.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados os resultados da produtividade de grãos (em kg ha⁻¹, corrigidos a 13% de umidade) das linhagens e cultivares testemunhas do grupo de maturação 8 (GM8), obtidos nos ensaios de valor de cultivo e uso (VCUs), do programa de melhoramento de soja da DuPont Pioneer, conduzidos entre as safras de 2006/2007 e 2015/2016, nas MRS 3 e MRS 4 do Brasil.

O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados, com três repetições. Cada parcela era constituída de quatro linhas de 5 m, com espaçamento de 0,5 m entre linhas. As duas linhas externas de cada parcela foram descartadas como bordadura, sendo colhidas apenas as duas linhas centrais para a obtenção do dado de produtividade de grãos.

Os experimentos foram plantados em áreas de cultivo de soja pertencentes a produtores rurais das regiões de interesse. As datas de plantio e os tratos culturais seguiram as práticas agronômicas padrões, adotadas pelos produtores, com aplicação de herbicidas e pesticidas conforme necessidade e indicações técnicas para a cultura. A densidade de plantas adotada foi estabelecida de acordo com o local e a maturidade relativa de cada genótipo.

A cada ano, as linhagens que não apresentaram bom desempenho foram descartadas e substituídas por outras. As linhagens que apresentaram bom desempenho agrônômico, por sua vez, foram mantidas e avaliadas novamente na safra seguinte, sendo comuns a dois ou mais anos de avaliação. As cultivares utilizadas como testemunhas também variaram ao longo dos anos, sendo substituídas na medida em que novas cultivares mais produtivas eram lançadas no mercado.

A taxa de substituição de tratamentos de uma safra para a seguinte foi calculada a fim de medir a proporção de novas linhagens incluídas, a proporção de linhagens excluídas e a proporção de linhagens mantidas a cada ano.

A taxa de substituição dos tratamentos (TS%) foi obtida pelo estimador:

$$TS\% = \left[\frac{NS2 - NC}{NS2} \right] * 100$$

Em que:

NS2 é o número total de genótipos avaliados na safra 2; e

NC é o número de genótipos comuns entre duas safras consecutivas.

Ao todo, foram analisados 204 experimentos dentro da MRS 3 e MRS 4, entre as safras de 2006/2007 e 2015/2016 (ANEXO A). Na tabela 1, é apresentado o número de observações realizadas a cada ano por MRS.

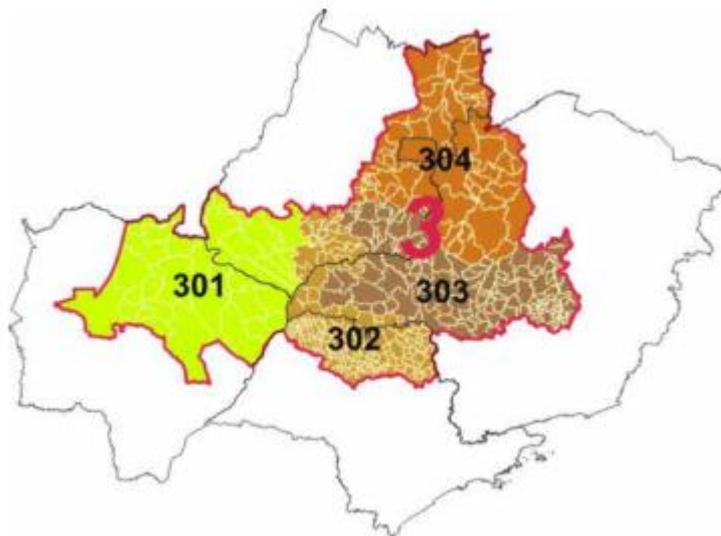
Tabela 1 - Número de observações realizadas por ano em cada MRS

MRS	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
3	2302	1327	1143	491	324	242	1084	1196	420	84
4	3199	1648	1593	1191	540	950	1715	4876	1515	610
Total	5501	2975	2736	1682	864	1192	2799	6072	1935	694

Fonte: Dados do autor (2016).

A MRS 3 compreende parte das regiões Sudeste e Centro-Oeste e é composta por quatro regiões edafo-climáticas: REC 301, REC 302, REC 303 e REC 304. Esta MRS abrange a região norte de São Paulo, a região centro-norte do Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, as regiões sul, sudeste e leste de Goiás e o Distrito Federal. O clima predominante na MRS 3 é o mesotérmico, com invernos secos (FIGURA 4) (KASTER; FARIAS, 2012).

Figura 4 - Macrorregião sojícola 3 e as quatro regiões edafo-climáticas que a compõe.

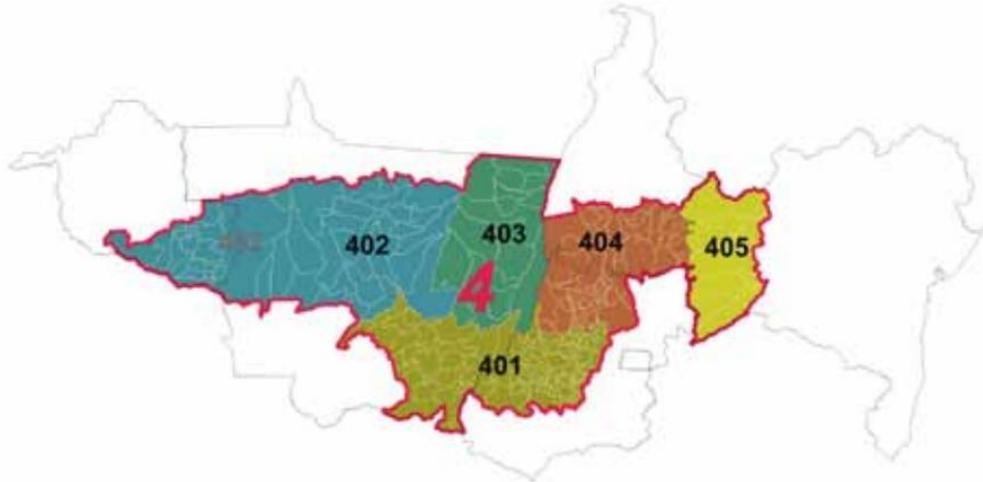


Fonte: Kaster e Farias (2012).

A MRS 4 compreende, predominantemente, a região Centro-Oeste e é composta por cinco regiões edafo-climáticas: REC 401, REC 402, REC 403, REC 404 e REC 405. Esta MRS abrange o Mato Grosso, o sul de Rondônia, as regiões sudoeste e centro-norte de Goiás,

o sul do Tocantins e oeste da Bahia (FIGURA 5). O clima da MRS 4 é megatérmico, com inverno seco (KASTER; FARIAS, 2012).

Figura 5 - Macrorregião sojícola 4 e as cinco regiões edafo-climáticas que a compõe.



Fonte: Kaster e Farias (2012)

A qualidade dos dados de cada um dos 204 experimentos analisados foi aferida por meio do cálculo do coeficiente de variação experimental (%) e da acurácia seletiva ($r_{gg'}$). Esses estimadores de qualidade experimental são obtidos por:

$$CVe (\%) = \left(\frac{S}{\mu} \right) * 100$$

$$r_{gg'} = \sqrt{1 - \frac{1}{F}}$$

A estimativa do ganho genético foi realizada, adotando o método proposto por Borges et al. (2009). O ajuste do modelo linear aleatório foi realizado utilizando o método de inferência por verossimilhança restrita (REML). Dessa maneira, no presente estudo o modelo adotado foi:

$$y_{ijk1} = \mu + g_i + l_{k(1)} + b_{j(k)} + a_l + gl_{ik} + ga_{i1} + gla_{ik1} + e_{ijk1}$$

Onde:

y_{ijkl} : valor da observação do genótipo i , no bloco j , no local k , do ano l ;

μ : constante geral do modelo de efeito fixo;

g_i : efeito aleatório do genótipo i ;

$l_{k(1)}$: efeito aleatório do local k dentro do ano 1 ;

$b_{j(k)}$: efeito aleatório do bloco j dentro do local k

a_l : efeito aleatório do ano l ;

gl_{ik} : efeito aleatório da interação do genótipo i com o local k ;

ga_{il} : efeito aleatório da interação do genótipo i com ano l ;

gla_{ikl} : efeito aleatório da interação do genótipo i com o local k no ano l ;

e_{ikl} : erro aleatório associado a observação do genótipo i , no bloco j , no local k , do ano

l .

Depois de ajustado o modelo, o valor genotípico médio de cada genótipo foi calculado via BLUP, somando-se o efeito individual à media geral. Dessa maneira, podemos expressar o efeito do genótipo por $BLUP = \mu + g$, que é o BLUP de cada genótipo. Os efeitos genotípicos das interações não foram considerados no cálculo do BLUP de cada genótipo, pois o interesse do estudo estava no ganho genético geral e não dos locais ou anos específicos.

De posse dos valores de BLUP de todos os genótipos analisados, procedeu-se o cálculo do ganho em biênios, subtraindo-se os valores genotípicos médios de um determinado ano ao do ano imediatamente anterior. O ganho ao longo do período foi estimado pela média dos ganhos bianuais.

As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software R (R CORE TEAM, 2016) com os métodos de inferência via verossimilhança restrita (RELM) implementados com o pacote lme4 (BATES et al., 2015). Objetivando possuir uma amostra da distribuição à posteriori dos parâmetros e efeitos, para obter uma maior precisão nos intervalos de confiança dos efeitos dos genótipos e, conseqüentemente, do ganho genético, o modelo foi reajustado pela metodologia de MCMC (Monte Carlo Markov Chain) com auxílio do pacote MCMCglmm (HADFIELD, 2010).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os ensaios de VCU considerados neste estudo foram conduzidos em 204 ambientes, ao longo de 10 anos agrícolas, sendo que o número de locais a cada safra variou entre nove, na safra 2015/16, e 29, na safra 2012/13 (TABELA 2). Esses locais representam as áreas de cultivo de soja das regiões Sudeste e Centro-Oeste, que corresponderam na safra 2015/16 a cerca de 17 milhões de hectares (CONAB, 2017b). O total de observações de produtividade obtidas a cada safra variou entre 694, na safra 2015/16, e 6072, na safra 2013/14 (TABELA 2). A variação ao longo das safras no número de locais e de observações é decorrente de fatores como a disponibilidade de sementes para plantio dos ensaios, o número de locais planejados a cada ano com base na disponibilidade de recursos financeiros e humanos e a perda de locais ou parcelas por fatores bióticos e abióticos, como pragas, seca durante o período de cultivo e excesso de chuva na colheita.

Tabela 2 - Produtividade média de grãos (em kg ha⁻¹, corrigidos a 13% de umidade), total de observações e número de locais dos ensaios de VCU entre as safras 2006/07 e 2015/16.

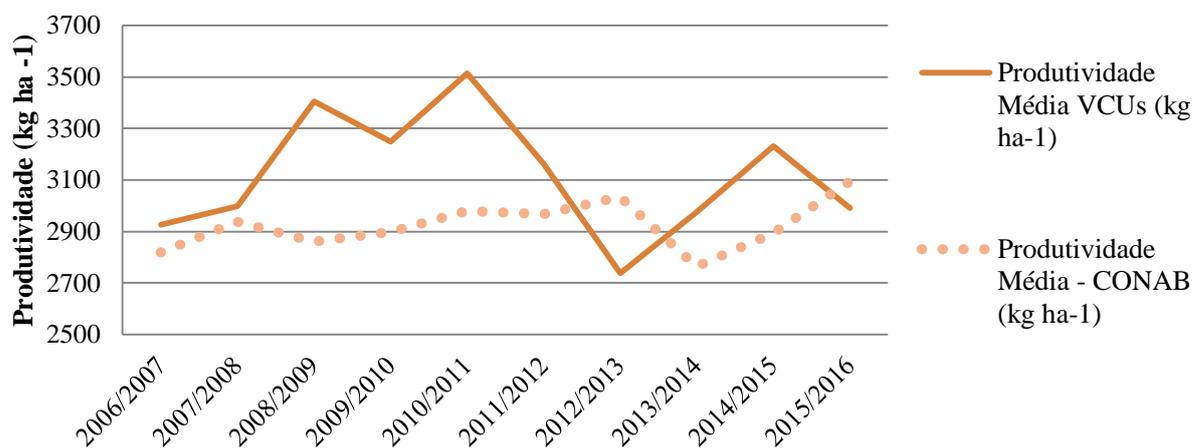
Safra	Produtividade Média (kg ha ⁻¹)	Número de Observações	Número de locais
2006/07	2926	5501	27
2007/08	2997	2975	22
2008/09	3404	2736	24
2009/10	3249	1682	28
2010/11	3513	864	17
2011/12	3162	1192	11
2012/13	2737	2799	29
2013/14	2975	6072	27
2014/15	3231	1935	10
2015/16	2990	694	9
Média/Total	3118	26450	204

Fonte: Dados da autora (2016)

A produtividade média de grãos de soja, ao longo do período analisado, foi de 3118 kg ha⁻¹, sendo que a média anual variou entre 2737 kg ha⁻¹ na safra 2013/14 e 3513 kg ha⁻¹ na safra 2010/11 (TABELA 2). Quando se comparam as produtividades médias anuais de grãos de soja, obtidas nos ensaios de VCU avaliados ao longo das safras de 2006/07 e 2015/16, com os dados disponibilizadas pela CONAB (2017a) para a produtividade média de grãos de soja nas regiões Centro-Oeste e Sudeste, para o mesmo período, observa-se que,

como esperado, as médias dos ensaios de VCU estiveram na grande parte das safras, acima da média para a região (FIGURA 6).

Figura 6 - Comparativo entre a produtividade média de grãos de soja obtida nos VCU das safras 2006/07 a 2015/16 nas MRS 3 e 4 e a produtividade média de grãos de soja fornecidas pela CONAB para as regiões Centro-Oeste e Sudeste do Brasil.



Fonte: Adaptado de CONAB (2017a).

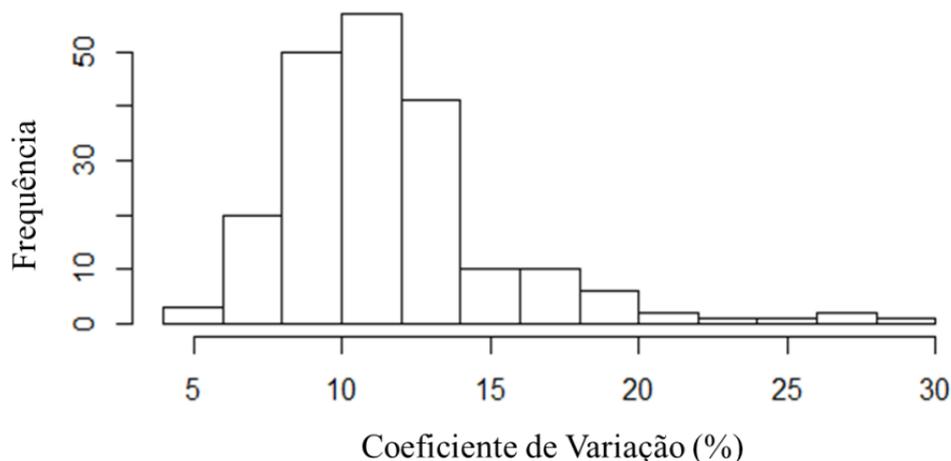
Essa variação da média de produtividade dos ensaios de VCU, ao longo das safras, reflete o efeito dos genótipos testados, que variaram a cada safra, o efeito ambiental da safra agrícola em questão e das interações dos genótipos testados com os ambientes. O efeito dos anos agrícolas é bastante imprevisível e as condições de estresses biótico e abiótico variaram enormemente de um ano agrícola para o outro. A avaliação dos genótipos em diferentes anos é essencial para tentar prever o comportamento que eles irão apresentar nas safras subsequentes em situação de cultivo nas propriedades agrícolas.

Quando se trabalha com ensaios de competição de cultivares, como é o caso dos ensaios de VCU, em um grande número de locais, que são geograficamente distantes e em ambientes diversos, a precisão e a qualidade experimental se tornam um dos principais desafios do melhorista. Enquanto a variação de desempenho observada em um genótipo nos diferentes locais e anos agrícolas é decorrente das interações e das condições ambientais e de manejo, que representam os diferentes ambientes para os quais o melhorista busca cultivares adaptadas, a variação ambiental dentro do local de experimentação representa erro experimental e prejudica o poder da experimentação em discriminar os melhores genótipos. Para acessar a qualidade dos dados utilizados neste estudo, foi realizada a análise de variância

para cada local e calculados o coeficiente de variação experimental (CVe) e a acurácia seletiva (r_{gg}).

Coeficiente de variação experimental com valores de até 15 % foram observados para a grande maioria dos experimentos analisados, como pode se observar no histograma da Figura 7 e no Anexo 1, o que atende aos requisitos mínimos para determinação do valor de cultivo e uso de soja para inscrição no Registro Nacional de Cultivares – RNC. De acordo com esses requisitos, experimentos cujo CVe for superior a 20% não deverão ser considerados na análise conjunta dos locais e, por consequência, no cálculo da produtividade na região (BRASIL, 2001). Apesar de ser o parâmetro oficial adotado pelo MAPA/SNPC (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento/Serviço Nacional de Proteção de Cultivares), o uso do CVe como medida de precisão experimental tem sido questionado, pois essa estimativa depende da variação residual em proporção à média do experimento, não considerando a variação genotípica do caráter em questão e não informando sobre a acurácia com que estão sendo selecionados os genótipos (CARVALHO et al., 2003; RESENDE; DUARTE, 2007).

Figura 7 - Coeficientes de variação experimental (%) das análises de variância de produtividade de grãos dos 204 ensaios de VCU conduzidos nas MRS 3 e 4, entre as safras de 2006/07 e 2015/16.

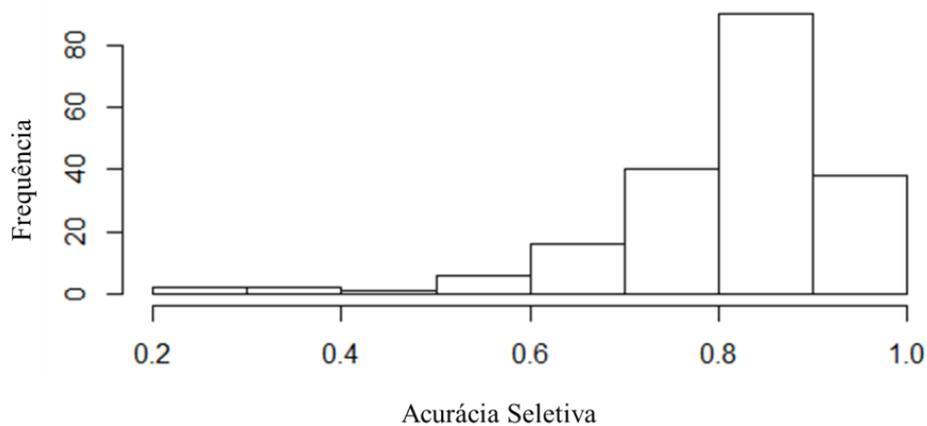


Fonte: Dados da autora (2016)

A r_{gg} média dos 204 experimentos analisados foi de 0,81, sendo que, para a grande maioria dos experimentos a r_{gg} teve valores acima de 0,7, como pode ser observado no histograma da Figura 8 e no Anexo 1. Esses resultados indicam precisão experimental alta, de acordo com o critério estabelecido por Resende e Duarte (2007). Com estimativa baseada na

estatística F de Snedecor, que é a razão entre o quadrado médio dos tratamentos e o quadrado médio dos erros obtidos na análise de variância, a magnitude da r_{gg} será tanto maior quanto maior for o valor de F, visto que a estimativa da r_{gg} é dada por $\sqrt{1 - 1/F}$. Assim, se o quadrado médio do erro é pequeno em relação ao quadrado médio dos tratamentos, o valor de F e da r_{gg} serão elevados. Resende e Duarte (2007) mostraram que, para se obter r_{gg} ideal de 0,9 ou mais, são necessários valores de F maiores do que 5, sendo que experimentos com valores de F menores do que 1,96 não geram valores mínimos de r_{gg} , não devendo ser aproveitados para seleção em melhoramento de plantas. A acurácia seletiva tem sido considerada uma boa estimativa de qualidade experimental, pois, diferentemente do CV, considera o nível de variação genética do caráter em questão, a magnitude da variação residual e o número de repetições (RESENDE; DUARTE, 2007). Vale ressaltar, porém, que em situações onde a magnitude da variância genética dos tratamentos é pequena, a magnitude do valor do quadrado médio dos tratamentos será pequena, contribuindo para baixos valores de F e de r_{gg} , que podem levar a inferir precisão experimental ruim, mesmo com quadrado médio do erro de baixa magnitude.

Figura 8 - Acurácia seletiva para as análises de variância de produtividade de grãos, observados nos 204 ensaios de VCU utilizados neste estudo, conduzidos nas MRS 3 e 4, entre as safras de 2006/07 e 2015/16.



Fonte: Dados da autora (2016)

O menor número de genótipos avaliados em uma safra foi de 15, na safra 2010/11 e o maior número de genótipos avaliados foi de 80, na safra 2013/14 (TABELA 3). A qualidade dos resultados obtidos em cada safra para tomada de decisão, a disponibilidade de sementes para plantio dos ensaios e a disponibilidade de recursos financeiros e humanos para plantio e condução dos ensaios são alguns fatores que afetam o número de genótipos a serem testados a

cada safra. O número mínimo de genótipos comuns de uma safra para a outra foi de quatro, entre as safras 2009/10 e 2010/11, o que significa que dos 15 genótipos testados na safra 2010/11, quatro foram testados também na safra anterior, 2009/10. A taxa de substituição dos genótipos teve variação entre 29,41% e 77,78% (TABELA 3).

Tabela 3 - Número de genótipos comuns entre duas safras consecutivas (NC), número total de genótipos analisados na safra 1 (NS1), número total de genótipos avaliados na safra 2 (NS2) e taxa de substituição (TS) de genótipos da safra 1 para a safra 2.

Safra 1	Safra 2	NC	NS1	NS2	TS (%)
2006/07	2007/08	24	47	43	44,19
2007/08	2008/09	23	43	36	36,11
2008/09	2009/10	12	36	17	29,41
2009/10	2010/11	4	17	15	73,33
2010/11	2011/12	8	15	36	77,78
2011/12	2012/13	18	36	47	61,70
2012/13	2013/14	20	47	80	75,00
2013/14	2014/15	26	80	60	56,67
2014/15	2015/16	12	60	26	53,85

Fonte: Dados da autora (2016)

Nos programas de melhoramento de soja, uma linhagem passa por diversas etapas, desde a obtenção da população segregante até a avaliação final de seu valor genotípico e recomendação para o mercado. As populações segregantes de soja são geralmente conduzidas em bulk até a geração F₃ ou F₄, quando são obtidas centenas ou milhares de progênies de cada população. Essas progênies são testadas e selecionadas para os caracteres de interesse ao longo de dois ou três anos e só então irão participar dos testes de VCU. O MAPA exige que as linhagens sejam testadas por dois anos em ensaios de VCU, para posterior inscrição no RNC. Geralmente, o número de linhagens que chegam a ser testadas nos ensaios de VCU não é muito grande, e as linhagens que não apresentaram bom desempenho são descartadas no primeiro ano de teste e substituídas por outras. As linhagens que apresentaram bom desempenho, por sua vez, são mantidas e avaliadas, novamente, na safra seguinte, sendo comuns a dois ou mais anos de avaliação. As cultivares utilizadas como testemunhas também são substituídas, ao longo dos anos, na medida em que novas cultivares melhores e mais competitivas são lançadas no mercado.

Além do desempenho das linhagens em um determinado ano agrícola, da eficiência do programa de melhoramento em obter novas linhagens mais produtivas do que as já disponíveis e do lançamento de novas cultivares no mercado, a variação nas taxas de

manutenção e de substituição dos genótipos nos ensaios de VCU é diretamente influenciada pela qualidade dos resultados obtidos em cada safra para tomada de decisão e pela disponibilidade de recursos para o plantio de ensaios.

Os dados aqui apresentados permitem inferir sobre a capacidade do programa de melhoramento na obtenção de novas linhagens e refletem a dinâmica do mercado de sementes de soja no Brasil, uma vez que as cultivares testemunhas utilizadas nos ensaios são provenientes das diferentes empresas que trabalham com melhoramento de soja do GM8. Muitos produtores de soja no Brasil cultivam grandes áreas com a oleaginosa e são altamente tecnificados, o que faz com que estejam sempre em busca de novas cultivares, que lhes garantam maior produtividade por área cultivada. Nesse contexto, se mantém sempre elevada a demanda por novos produtos, o que leva as empresas a disponibilizar ao mercado um grande número de cultivares a cada ano.

A substituição dos tratamentos, a não repetição dos locais ao longo dos anos e a perda de parcelas experimentais causam o desbalanceamento dos dados e não permitem que comparações diretas sejam feitas, ao longo de vários anos, com base nas médias dos tratamentos (BERNARDO, 2010). Quando se trata de uma grande rede de ensaios e de análises conjuntas entre diferentes anos, essas condições que levam ao desbalanceamento são muito comuns. Em situação de desbalanceamento e homogeneidade de variâncias, que é o caso dos dados utilizados neste estudo, existe um coeficiente de determinação genotípica em nível de médias e uma acurácia para cada tratamento genético, o que faz com que o BLUP seja o procedimento empregado mais facilmente na determinação dos valores genotípicos (RESENDE; DUARTE, 2007). Segundo Bernardo (2010), o BLUP é bastante útil, especialmente por duas razões: permitir a análise de dados desbalanceados acumulados de ensaios de desempenho, considerando as diferenças na quantidade de dados disponíveis para cada genótipo, pois os melhores genótipos são testados mais vezes e têm mais dados disponíveis enquanto os piores genótipos são descartados e têm menos dados disponíveis, e permitir a utilização de informações dos parentais, maximizando assim o uso de informações disponíveis quando da comparação de diferentes genótipos.

Considerando o que foi discutido acima e sabendo da importância do cálculo do ganho genético para os programas de melhoramento, quantificou-se o ganho genético obtido ao longo de 10 safras, 2006/07 a 2015/16, nas MRS 3 e 4, utilizando os dados dos ensaios de VCU e empregando métodos de estimativa dos valores genéticos reais dos tratamentos baseados em REML/BLUP.

As estimativas dos componentes de variância associados a cada efeito do modelo são apresentadas na Tabela 4. Pode-se observar que o efeito do local corresponde a 42,9% da variância e a interação dos genótipos x locais a 9,2%, enquanto o ano corresponde a 9,1% e a interação dos genótipos x anos a 1,1%. Essa diferença se deve ao fato de o número de locais testados, 204, ser muito maior do que o número de anos analisados, 10, o que também proporciona uma grande diferença no número de interações, sendo que foram analisadas um total de 7140 interações de genótipos x locais e 407 interações de genótipos x anos. A magnitude da variância associada ao local pode ser explicada pelo fato de que os locais analisados estão divididos ao longo do período de 10 anos e estão localizados em regiões agrícolas bastante distintas, além de representarem todas as diferenças de manejo, época de semeadura, tipo de solo, regime hídrico, condições climáticas, manejo de controle de pragas e doenças, que são variáveis que interferem diretamente na produtividade de grãos.

A variância associada ao erro também é expressiva, correspondendo a 28% da variância total. Apesar dos experimentos considerados, nesta análise, apresentarem elevada precisão e qualidade experimental, a análise conjunta de um grande número de locais distribuídos ao longo de 10 anos de experimentação proporcionam um erro elevado, o que é um complicador na estimativa dos valores genéticos reais dos genótipos analisados.

Tabela 4 - Estimativas dos componentes de variâncias (σ^2) associadas aos efeitos do modelo estatístico (θ), com respectivos desvios padrão (S), para as macrorregiões sojícolas 3 e 4.

θ	σ^2	S	% σ^2
Genótipo:Local:Ano	28604	169	5,5
Genótipo:Local	47556	218	9,2
Genótipo:Ano	5702	76	1,1
Rep/Local	386	20	0,1
Genotipo	20683	144	4,0
Local/Ano	221569	471	42,9
Ano	47058	217	9,1
Resíduo	144502	380	28

Fonte: Dados da autora (2016)

De posse das variâncias associadas a cada um dos efeitos do modelo, foram calculados os valores genéticos médios (BLUPs) dos genótipos testados em cada uma das safras, bem como as variâncias associadas a esses valores e o ganho genético, por biênio e acumulado (TABELA 5).

Ao longo do período analisado o ganho genético obtido para genótipos do GM 8, nas MRS 3 e 4, foi de 18.3 kg ha⁻¹ ano⁻¹, indicando que de modo geral a média dos genótipos inseridos a cada ano era maior do que a média dos genótipos avaliados no ano anterior.

Os menores ganhos foram observados entre as safras 2010/11 e 2011/12, apesar das elevadas produtividades médias observadas nos ensaios, sendo, provavelmente, um efeito do menor número de locais e genótipos testados nessas safras (TABELA 2). Os maiores ganhos foram obtidos entre as safras 2008/09 e 2009/10 e 2013/14 e 2014/15, com, respectivamente, 2,21 % e 1,95% em relação à média geral das 10 safras.

Tabela 5 - Valores genéticos médios (BLUPs) dos genótipos testados em cada uma das safras (u), variância associada ao valor de u (Vu), ganho genético (Gg) em kg ha⁻¹ e %, intervalo de confiança (IC) e p-value do para o ganho genético.

Biênio	u1 (kg ha ⁻¹)	u2 (kg ha ⁻¹)	Vu1	Vu2	Gg (kg ha ⁻¹)	Gg %	p-value	IC(95%) (kg ha ⁻¹)
2006/07_2007/08	-50	-29	484	411	21.4	0.69	0.097	-3;47
2007/08_2008/09	-29	-23	411	391	5.5	0.18	0.604	-16;26
2008/09_2009/10	-23	46	391	422	68.9	2.21	0.000	37;100
2009/10_2010/11	46	77	422	714	31.4	1.01	0.190	-14;79
2010/11_2011/12	77	9	714	395	-67.9	-2.18	0.001	-106;-31
2011/12_2012/13	9	25	395	397	15.8	0.51	0.222	-11;39
2012/13_2013/14	25	33	397	360	8.1	0.26	0.611	-21;40
2013/14_2014/15	33	94	360	560	60.9	1.95	0.000	31;87
2014/15_2015/16	94	115	560	1056	21.0	0.67	0.309	-21;59
Total					18.3	0.59	0.000	9;28

Fonte: Dados da autora (2016).

No Brasil, a produtividade média de grãos de soja tem aumentado ao longo dos anos a uma taxa de 42,103 kg ha⁻¹ ano⁻¹, como mostra a regressão da produtividade média, ao longo de 40 safras (1976/77 - 2015/16) (Figura 3). A produtividade de grãos de soja é um caráter expresso fenotipicamente, por meio da combinação do potencial genético das cultivares, das práticas agrônômicas empregadas no cultivo e das condições ambientais que ocorrem a cada safra agrícola (SUHRE et al., 2014). Dessa maneira, pode-se dizer que o melhoramento genético, por meio do lançamento de cultivares mais produtivas e adaptadas, e as melhorias nas práticas de manejo empregadas nas lavouras, contribuíram para a elevação da produtividade ao longo do tempo.

Na tentativa de entender a proporção da contribuição de cada um desses fatores para a produtividade média, Specht e Williams (1984) estimaram que, nos Estados Unidos, a contribuição do melhoramento genético foi de 12 kg ha⁻¹ ano⁻¹ para cultivares do grupo de

maturação 4 ou mais precoces, lançadas depois de 1940. Mais recentemente Specht, Hume e Kumudini (1999) resumiram uma série de estudos sobre ganho genético para produtividade de grãos de soja (BOERMA, 1979; LUEDDERS, 1977; SALADO-NAVARRO; SINCLAIR; HINSON, 1993; SPECHT; WILLIAMS, 1984; VOLDENG et al., 1997; WILCOX et al., 1979), realizadas com o emprego do método direto, e reportaram que a estimativa linear para o ganho genético está entre 10 to 30 kg ha⁻¹ ano⁻¹.

No Brasil, é mais comum o emprego dos métodos indiretos, que utilizam dados dos ensaios de avaliação de linhagens e cultivares, para estimar o ganho genético. Toledo et al. (1990) empregaram o método Vencovsky et al. (1986) e, utilizando os dados obtidos entre os anos de 1981 a 1986 nos testes da rede oficial de avaliação de linhagens do estado do Paraná, obtiveram ganhos genéticos na ordem de 1,8% para os genótipos de maturação precoce e 1,3% para os genótipos de maturação semiprecoce, o que corresponde a um ganho médio anual de 45,1 e 36,8 kg ha⁻¹, respectivamente (TOLEDO et al., 1990). Para os anos seguintes, 1986 a 1990, os ganhos observados para esta mesma região decresceram, e foram de 0,89% para os genótipos de maturação precoce e de 0,38% para os genótipos de maturação semiprecoce, o que corresponde a um ganho médio anual de 24,16 e 10,83 kg ha⁻¹, respectivamente (ALLIPRANDINI et al., 1993).

Utilizando resultados de rendimento de grãos de 20 anos de experimentos de avaliação de linhagens derivadas de quatro programas de melhoramento de soja, Lange e Federizzi (2009) estimaram 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. Os ganhos estimados variaram de 0,87% (18,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹) a 3,49% (71,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹), dependendo da região e do grupo de maturação, sendo que a maioria ficou entre 1,01 e 1,27%.

Como pode ser observado nos resultados do ganho genético reportados neste trabalho e nos resultados dos estudos aqui citados, a estimativa do ganho genético é bastante complexa e variável. O valor dessa estimativa irá depender do método empregado, dos genótipos avaliados, do programa de melhoramento, da região, do período de tempo considerado, entre outros fatores. Estimativas que utilizam dados provenientes de ensaios de avaliação de cultivares e envolvem um longo período de tempo são particularmente complexas, pois dependem de dados extremamente desbalanceados, com componentes de efeito ambiental, de efeito de interação e de erro experimental extremamente significativos, o que dificulta a obtenção dos valores genéticos reais dos genótipos avaliados.

Em vários estudos de estimativa de ganho genético no Brasil foram considerados também maiores amplitudes de tempo e incluindo cultivares mais antigas, menos adaptadas e

de menor produtividade. As cultivares e linhagens consideradas no presente estudo já são fruto de enormes contribuições do melhoramento, com potenciais produtivos superiores, uma condição em que os ganhos conferidos pelo melhoramento tendem a reduzir. Esse resultado permite também inferir que novas estratégias de melhoramento para gerar variabilidade e recombinantes superiores devam ser incorporadas visando a manter, e até a aumentar os ganhos observados.

5 CONCLUSÃO

Os experimentos analisados mostraram elevada qualidade experimental com base nos coeficientes de variação ambiental e na acurácia seletiva.

REFERÊNCIAS

- ABREU, Â. de F. B. et al. Progresso do melhoramento genético do feijoeiro nas décadas de setenta e oitenta nas regiões sul e alto paranaíba em Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 1, p. 105–112, jan. 1994.
- ALLIPRANDINI, L. F. et al. 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.
- BATES, D. et al. Fitting linear mixed-effects models using lme4. **Journal of Statistical Software**, Innsbruck, v. 67, n. 1, p. 1-48, Oct. 2015.
- BERNARDO, R. **Breeding for quantitative traits in plants**. 2. ed. Woodbury: Stemma Press, 2010. 400 p.
- BOERMA, H. R. Comparison of past and recently developed soybean cultivars in maturity groups VI, VII e VIII. **Crop Science**, Madison, v. 19, p. 494-498, 1979.
- BORGES, V. et al. Progresso genético do programa de melhoramento de arroz de terras altas de Minas Gerais utilizando modelos mistos. **Revista Brasileira de Biometria**, São Paulo, v. 27, n. 3, p. 478–490, 2009.
- BRASIL. **Ministério da agricultura e do abastecimento**. Brasília: RNC, 2001. 19 p.
- BRESEGHELLO, F.; MORAIS, O. P.; RANGEL, P. H. N. A new method to estimate genetic gain in annual crops. **Genetics and Molecular Biology**, Ribeirão Preto, v. 21, p. 551-555, 1998.
- CARGNIN, A. **Progresso genético em trinta anos de melhoramento do trigo em Minas Gerais**. 2007. 61 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.
- CARPENTIERI-PÍPOLO, V.; ALMEIDA, L. A. de; KIIHL, R. A. D. S. Inheritance of a long juvenile period under short-day conditions in soybean. **Genetics and Molecular Biology**, São Paulo, v. 25, n. 4, p. 463–469, dez. 2002.
- CARVALHO, C. G. P. de et al. 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.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos. Safra 2016/17: quinto levantamento**. Brasília: Conab, 2017b. 166 p.
- _____. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/index.php>>. Acesso em 19 de fevereiro de 2017a.
- DESTRO, D. et al. Photoperiodism and genetic control of the long juvenile period in soybean. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 1, n. 1, p. 72–92, 2001.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Tecnologias de produção de soja - Região central do Brasil 2014**. Londrina: Embrapa Soja, 2013. 265 p. 2015.

FERNANDES, J. S. C. **Estabilidade ambiental de cultivares de milho (*Zea mays* L.) na região Centro Sul do Brasil**. 1998. 94 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1998.

FONSECA JÚNIOR, N. S. da. **Progresso genético na cultura do feijão no Estado do Paraná para o período de 1977 a 1995**. 1997. 160 p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1997.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS STATISTICS - FAOSTAT. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#home>>. Acesso em: 2 mar. 2017.

GARCIA, A. et al. **Instalação da lavoura de soja: época, cultivares, espaçamento e população de plantas**. Londrina: Embrapa Soja, 2007. 12 p. (Circular Técnica, 51).

HADFIELD, J. D. MCMC methods for multi-response generalized linear mixed model: the MCMCglmm R package. **Journal of Statistical Software**, Innsbruck, v. 33, n. 2, p. 1-22, Feb. 2010.

KASTER, M.; FARIAS, J. R. B. **Regionalização dos testes de valor de cultivo e uso e da indicação de cultivares de soja: terceira aproximação**. Londrina: Embrapa Soja, 2012. 69 p. (Documentos, 330).

KOESTER, R. P. et al. 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**, Lancaster, v. 65, n. 12, p. 3311–3321, July 2014.

LANGE, C. E.; FEDERIZZI, L. C. Estimation of soybean genetic progress in the south of Brazil using multi- environmental yield trials. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 66, n. 3, p. 309–316, maio/jun. 2009.

LUEDDERS, V. D. Genetic improvement in yield of soybeans. **Crop Science**, Madison, v. 17, p. 971–972, Nov. 1977.

MORAIS, O. P.; ABBUD, N. S. **Subsídios para avaliação do progresso genético dos programas estaduais de melhoramento de arroz no Brasil**. Goiânia: Embrapa, CNPAF, 1993. 26 p.

PIEPHO, P. Best Linear Unbiased Prediction (BLUP) for regional yield trials: a comparison to additive main effects and multiplicative interaction (AMMI) analysis. **Theoretical and Applied Genetics**, Heidelberg, v. 89, n. 5, p. 647–654, Mar. 1994.

R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2016.

RAMALHO, M. A. P. **Competências em melhoramento genético de plantas no Brasil**.

Viçosa: Arka, 2010. 108 p.

RESENDE, M. D. V. de; DUARTE, J. B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiania, v. 37, n. 3, p. 182–194, set. 2007.

RUBIN, S. D. A. L.; SANTOS, O. S. D. S. Progresso do melhoramento genético da soja no estado do Rio Grande do Sul: i. rendimento de grãos. **Pesquisa Agropecuaria Gaúcha**, Porto Alegre, v. 2, n. 2, p. 139–147, jul. 1996.

SALADO-NAVARRO, L. R.; SINCLAIR, T. R.; HINSON, K. Change in yield and seed growth traits in soybean cultivars released in the southern USA from 1945 to 1983. **Crop Science**, Madison, v. 33, p. 1204–1209, Nov. 1993.

SPECHT, J. E.; HUME, D. J.; KUMUDINI, S. V. Soybean yield potential: a genetic and physiological perspective. **Crop Science**, Madison, v. 39, n. 6, p. 1560–1570, Nov. 1999.

SPECHT, J. E.; WILLIAMS, J. H. Contribution of genetic technology to soybean productivity: retrospect and prospect. In: FEHR, W. R. (Ed.). **Genetic contributions to yield gains of five major crop plants**. Madison: Crop Science Society of America and American Society of Agronomy, 1984. p. 49–74.

SPEHAR, C. R. Breeding soybeans to the low latitudes of Brazilian Cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 8, p. 1167–1180, ago. 1994.

SUHRE, J. J. et al. Soybean yield partitioning changes revealed by genetic gain and seeding rate interactions. **Agronomy Journal**, Gainesville, v. 106, n. 5, p. 1631–1642, Sept. 2014.

TOLEDO, J. F. F. de et al. Ganho genético em soja no estado do Paraná, via melhoramento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 1, p. 89–94, set. 1990.

VENCOVSKY, R. et al. Progresso genético em vinte anos de melhoramento do milho no Brasil. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 1986, Belo Horizonte. **Anais...** Sete Lagoas: Embrapa, 1986. p. 300–307.

VOLDENG, H. D. et al. Fifty-eight years of genetic improvement of short-season soybean cultivars in Canada. **Crop Science**, Madison, v. 37, p. 428–431, Mar. 1997.

WATANABE, S.; HARADA, K.; ABE, J. Genetic and molecular bases of photoperiod responses of flowering in soybean. **Breeding Science**, Kyoto, v. 61, n. 5, p. 531–543, Jan. 2012.

WILCOX, J. R. et al. Genetic improvement of soybeans in the Midwest. **Crop Science**, Madison, v. 19, p. 803–805, Nov. 1979.

WILSON, R. F. Soybean: market driven research needs. In: STACEY, G. (Ed.). **Genetics and genomics of soybean**. New York: Springer Science, 2008. Cap. 1, p. 3–15.

ANEXO A – DETALHES DOS EXPERIMENTOS DE VCU CONDUZIDOS ENTRE AS SAFRAS 2006/07 E 2015/16

Ano	Região Edafo-climática	Local	Nº de observações	Média (kg ha ⁻¹)	CV (%)	r _{gg} ²
2006	REC 301	COSTA RICA, MS	219	2707	12.06	0.90
2006	REC 304	CRISTALINA, GO	218	2436	17.00	0.87
2006	REC 304	BRASILIA, DF	219	2913	14.71	0.69
2006	REC 303	INDIANOPOLIS, MG	215	2607	6.23	0.91
2006	REC 302	ITUMBIARA, Brazil	219	2520	8.77	0.73
2006	REC 304	LUZIANIA, GO	117	2580	10.06	0.99
2006	REC 301	MINEIROS, GO	219	3322	12.95	0.74
2006	REC 303	NOVA PONTE, MG	219	2563	7.54	0.93
2006	REC 303	PERDIZES, MG	219	2764	13.08	0.79
2006	REC 301	RIO VERDE, GO	219	3974	12.51	0.80
2006	REC 304	UNAI, MG	219	2856	15.57	0.60
2006	REC 405	FORMOSA DO RIO PRETO, BA	219	2807	13.92	0.80
2006	REC 405	BARREIRAS, BA	219	2903	12.89	0.76
2006	REC 404	GURUPI, TO	219	2247	14.45	0.80
2006	REC 405	CORRENTINA, BA	209	2851	10.65	0.80
2006	REC 401	CAMPO VERDE, MT	191	2560	26.21	0.79
2006	REC 401	ITIQUIRA, MT	219	2792	12.98	0.86
2006	REC 401	PRIMAVERA DO LESTE, MT	216	2987	16.64	0.81
2006	REC 403	CANARANA, MT	218	2340	15.73	0.64
2006	REC 402	CAMPO NOVO DO PARECIS, MT	211	2594	13.65	0.84
2006	REC 402	DIAMANTINO, MT	216	2896	29.35	0.51
2006	REC 402	DIAMANTINO, MT	203	3494	21.24	0.69
2006	REC 402	LUCAS DO RIO VERDE, MT	117	3312	9.70	0.83
2006	REC 402	SORRISO, MT	219	4062	9.42	0.82
2006	REC 402	NOVA MUTUM, MT	215	3556	11.67	0.80

Ano	Região Edafo-climática	Local	Nº de observações	Média (kg ha ⁻¹)	CV (%)	r _{gg'}
2006	REC 402	CAMPO NOVO DO PARECIS, MT	90	2772	17.86	0.82
2006	REC 402	SINOP, MT	218	3479	9.78	0.82
2007	REC 302	ACREUNA, GO	138	2552	9.46	0.93
2007	REC 303	CATALAO, GO	138	2206	12.21	0.87
2007	REC 401	CAIAPONIA, GO	137	3396	10.35	0.87
2007	REC 301	COSTA RICA, MS	90	2727	21.19	0.70
2007	REC 304	BRASILIA, DF	136	976	16.60	0.75
2007	REC 304	LUZIANIA, GO	137	2523	19.12	0.92
2007	REC 301	MINEIROS, GO	138	2852	13.60	0.85
2007	REC 303	PIRACANJUBA, GO	138	3284	6.60	0.87
2007	REC 301	RIO VERDE, GO	138	3712	10.96	0.70
2007	REC 304	UNAI, MG	136	2931	19.17	NA
2007	REC 405	FORMOSA DO RIO PRETO, BA	138	3142	8.11	0.88
2007	REC 404	GURUPI, TO	138	2094	19.26	0.87
2007	REC 405	SAO DESIDERIO, BA	138	2762	12.36	0.80
2007	REC 304	SAO JOAO DA ALIANCA, GO	138	2892	16.31	0.78
2007	REC 401	CAMPO VERDE, MT	138	3320	11.43	0.70
2007	REC 401	ITIQUEIRA, MT	137	3058	12.59	0.54
2007	REC 401	PRIMAVERA DO LESTE, MT	136	3635	11.50	0.61
2007	REC 402	CAMPO NOVO DO PARECIS, MT	137	3734	8.13	0.80
2007	REC 402	DECIOLANDIA, MT	137	3373	10.92	0.90
2007	REC 402	DIAMANTINO, MT	136	3324	9.32	0.76
2007	REC 402	LUCAS DO RIO VERDE, MT	138	3602	8.15	0.84
2007	REC 402	SORRISO, MT	138	3342	14.88	0.88
2008	REC 304	CABECEIRA DE GOIAS, GO	112	3861	12.07	0.70
2008	REC 301	COSTA RICA, MS	63	3956	9.37	0.81
2008	REC 304	CRISTALINA, GO	159	3098	8.07	0.98

Ano	Região Edafo-climática	Local	Nº de obsservações	Média (kg ha ⁻¹)	CV (%)	r _{gg'}
2008	REC 304	BRASILIA, DF	157	3228	11.31	0.78
2008	REC 301	JATAI, GO	63	3152	11.93	0.83
2008	REC 304	LUZIANIA, GO	114	2396	11.51	0.96
2008	REC 301	MINEIROS, GO	80	3030	8.96	0.93
2008	REC 401	PALMEIRAS DE GOIAS, GO	123	2994	10.64	NA
2008	REC 303	PIRACANJUBA, GO	51	3467	12.45	NA
2008	REC 301	RIO VERDE, GO	63	3003	10.86	0.70
2008	REC 304	SILVANIA, GO	123	3210	8.69	0.92
2008	REC 405	BARREIRAS, BA	108	3056	13.17	0.69
2008	REC 404	GURUPI, TO	102	3226	10.88	0.59
2008	REC 304	SAO JOAO DA ALIANCA, GO	158	3670	11.56	0.80
2008	REC 401	CAMPO VERDE, MT	123	3102	12.52	0.94
2008	REC 401	ITIQUEIRA, MT	46	3716	16.27	0.30
2008	REC 401	PRIMAVERA DO LESTE, MT	87	4233	11.31	0.86
2008	REC 402	CAMPO NOVO DO PARECIS, MT	114	3389	12.98	0.84
2008	REC 402	DECIOLANDIA, MT	159	3979	13.38	0.82
2008	REC 402	DIAMANTINO, MT	159	3829	10.50	0.89
2008	REC 402	LUCAS DO RIO VERDE, MT	114	3776	10.99	0.86
2008	REC 402	SORRISO, MT	152	3083	11.66	0.95
2008	REC 402	NOVA MUTUM, MT	148	3377	13.31	0.86
2008	REC 402	SAPEZAL, MT	158	3809	12.49	0.82
2009	REC 302	ACREUNA, GO	51	2580	8.77	0.91
2009	REC 304	CRISTALINA, GO	26	2237	11.26	0.90
2009	REC 304	BRASILIA, DF	76	3475	8.08	0.87
2009	REC 302	ITUMBIARA, GO	50	2632	12.74	0.22
2009	REC 301	JATAI, GO	52	3054	8.17	0.95
2009	REC 303	MORRINHOS, GO	52	3474	10.08	0.88

Ano	Região Edafo-climática	Local	Nº de obssevações	Média (kg ha ⁻¹)	CV (%)	r _{gg'}
2009	REC 401	MONTIVIDIU, GO	52	3707	8.25	0.75
2009	REC 303	PIRACANJUBA, GO	52	4445	6.50	0.83
2009	REC 301	RIO VERDE, GO	52	3294	11.49	0.82
2009	REC 303	UBERABA, MG	24	2691	13.16	0.94
2009	REC 404	ALVORADA, TO	76	3394	6.65	0.92
2009	REC 405	CORRENTINA, BA	73	3622	12.92	0.82
2009	REC 304	SAO JOAO DA ALIANCA, GO	56	2878	12.02	0.91
2009	REC 401	CAMPO VERDE, MT	52	2908	12.60	0.79
2009	REC 401	ITIQUEIRA, MT	42	3251	9.59	0.74
2009	REC 401	PRIMAVERA DO LESTE, MT	52	3396	7.68	0.93
2009	REC 402	CAMPO NOVO DO PARECIS, MT	76	3130	10.37	0.87
2009	REC 402	CAMPO NOVO DO PARECIS, MT	76	2991	10.74	0.89
2009	REC 402	DECIOLANDIA, MT	76	3020	6.87	0.92
2009	REC 402	DIAMANTINO, MT	76	3102	8.13	0.89
2009	REC 402	LUCAS DO RIO VERDE, MT	51	3205	8.83	0.87
2009	REC 402	SORRISO, MT	76	3342	11.11	0.71
2009	REC 402	SORRISO, MT	76	3170	10.31	0.90
2009	REC 402	SORRISO, MT	72	3516	5.78	0.91
2009	REC 402	NOVA MUTUM, MT	75	3670	8.45	0.86
2009	REC 402	PARANATINGA, MT	73	3383	11.69	0.66
2009	REC 402	SAPEZAL, MT	52	3073	8.60	0.87
2009	REC 402	SINOP, MT	65	3192	8.36	0.66
2010	REC 304	CRISTALINA, GO	54	3464	8.46	0.91
2010	REC 304	BRASILIA, DF	54	3233	10.11	0.75
2010	REC 304	LUZIANIA, GO	54	4214	11.34	0.83
2010	REC 303	MORRINHOS, GO	54	3589	6.23	0.85
2010	REC 303	PIRACANJUBA, GO	54	3580	11.44	0.89

Ano	Região Edafo-climática	Local	Nº de obsrvações	Média (kg ha ⁻¹)	CV (%)	r _{gg'}
2010	REC 304	SAO JOAO DA ALIANCA, GO	54	3764	12.42	0.76
2010	REC 404	ALVORADA, TO	52	3430	10.97	0.67
2010	REC 404	GURUPI, TO	54	2911	8.62	0.94
2010	REC 401	CAMPO VERDE, MT	53	3281	11.66	0.54
2010	REC 401	GENERAL CARNEIRO, MT	54	3161	8.59	0.87
2010	REC 401	PRIMAVERA DO LESTE, MT	54	3393	8.09	0.89
2010	REC 401	PRIMAVERA DO LESTE, MT	50	3315	7.41	0.88
2010	REC 402	DIAMANTINO, MT	47	4294	6.88	0.90
2010	REC 402	LUCAS DO RIO VERDE, MT	54	3265	9.25	0.89
2010	REC 402	SORRISO, MT	54	3946	7.88	0.90
2010	REC 402	NOVA MUTUM, MT	14	3818	10.20	NA
2010	REC 402	SAPEZAL, MT	54	3373	11.38	NA
2011	REC 304	CRISTALINA, GO	20	2467	12.19	0.80
2011	REC 304	BRASILIA, DF	126	3320	8.80	0.83
2011	REC 304	SAO JOAO DA ALIANCA, GO	96	1846	25.06	NA
2011	REC 401	CAMPO VERDE, MT	125	3253	11.11	0.64
2011	REC 401	GENERAL CARNEIRO, MT	126	2792	11.14	0.74
2011	REC 401	PRIMAVERA DO LESTE, MT	126	3506	8.03	0.78
2011	REC 402	CAMPO NOVO DO PARECIS, MT	119	3770	10.18	0.88
2011	REC 402	DIAMANTINO, MT	121	3531	8.53	0.86
2011	REC 402	LUCAS DO RIO VERDE, MT	126	3247	7.98	0.75
2011	REC 402	SORRISO, MT	125	3192	10.39	0.95
2011	REC 402	NOVA MUTUM, MT	82	2864	4.37	0.97
2012	REC 302	ACREUNA, GO	21	2848	7.14	0.70
2012	REC 303	COROMANDEL, MG	147	2522	10.70	0.91
2012	REC 303	CAMPO ALEGRE DE GOIAS, GO	137	2387	7.47	0.97
2012	REC 304	CRISTALINA, GO	142	2852	13.77	0.33

Ano	Região Edafo-climática	Local	Nº de observações	Média (kg ha ⁻¹)	CV (%)	r _{gg'}
2012	REC 304	BRASILIA, DF	147	2853	13.92	0.81
2012	REC 302	ITUMBIARA, GO	145	2469	11.44	0.89
2012	REC 301	JATAI, GO	21	2807	9.02	0.83
2012	REC 301	MINEIROS, GO	21	3540	9.57	0.85
2012	REC 401	MONTIVIDIU, GO	21	3076	9.91	0.63
2012	REC 301	RIO VERDE, GO	21	3870	6.55	0.93
2012	REC 303	UBERLANDIA, MG	135	2463	15.48	0.79
2012	REC 404	GURUPI, TO	147	2650	13.14	0.81
2012	REC 405	LUIS EDUARDO MAGALHÃES, BA	143	2485	10.44	0.86
2012	REC 405	CORRENTINA, BA	9	2548	7.73	0.72
2012	REC 304	SAO JOAO DA ALIANCA, GO	147	3387	16.01	0.39
2012	REC 401	CAMPO VERDE, MT	65	2912	11.71	0.85
2012	REC 401	PRIMAVERA DO LESTE, MT	129	2468	15.93	0.80
2012	REC 401	RONDONÓPOLIS, MT	141	2990	8.69	0.84
2012	REC 403	SANTO ANTONIO DO LESTE, MT	119	2582	13.07	0.52
2012	REC 403	CANARANA, MT	24	2108	12.52	0.76
2012	REC 402	DIAMANTINO, MT	134	2753	9.58	0.84
2012	REC 402	LUCAS DO RIO VERDE, MT	113	2561	10.34	0.90
2012	REC 402	SORRISO, MT	140	3168	13.27	0.84
2012	REC 402	SORRISO, MT	95	3202	15.73	0.68
2012	REC 402	NOVA MUTUM, MT	117	2530	12.99	0.92
2012	REC 402	SAPEZAL, MT	28	3296	8.64	0.73
2012	REC 402	SINOP, MT	121	3130	8.70	0.85
2012	REC 402	TAPURAH, MT	145	2175	11.58	0.94
2012	REC 402	VILHENA, RO	24	2822	5.86	NA
2013	REC 302	ACREUNA, GO	42	2126	9.20	0.93
2013	REC 401	CAIAPONIA, GO	238	2474	15.90	0.87

Ano	Região Edafo-climática	Local	Nº de obsrvações	Média (kg ha ⁻¹)	CV (%)	r _{gg'}
2013	REC 304	CRISTALINA, GO	247	2300	12.00	0.87
2013	REC 304	BRASILIA, DF	249	2627	10.01	0.89
2013	REC 302	ITUMBIARA, GO	248	2600	16.94	0.73
2013	REC 301	JATAI, GO	42	2774	19.62	0.64
2013	REC 301	MINEIROS, GO	42	3116	18.34	NA
2013	REC 401	MONTIVIDIU, GO	343	2874	9.93	0.94
2013	REC 301	PEROLANDIA, GO (1)	42	2420	22.22	0.44
2013	REC 301	RIO VERDE, GO	38	2099	12.62	0.93
2013	REC 303	UBERLANDIA, MG	246	2798	12.50	0.89
2013	REC 404	GURUPI, TO	232	3229	10.20	0.75
2013	REC 404	NATIVIDADE, TO	212	3747	10.36	0.77
2013	REC 405	CORRENTINA, BA	249	3314	8.13	0.79
2013	REC 403	CANARANA, MT	278	3690	13.44	0.77
2013	REC 403	CONFRESA, MT	223	3647	12.80	0.77
2013	REC 402	CAMPO NOVO DO PARECIS, MT	345	3039	7.15	0.95
2013	REC 402	DIAMANTINO, MT	325	3339	10.14	0.79
2013	REC 402	LUCAS DO RIO VERDE, MT	335	2875	10.26	0.88
2013	REC 402	SORRISO, MT	203	3159	13.74	0.83
2013	REC 402	SORRISO, MT	313	2535	13.61	0.82
2013	REC 402	SORRISO, MT	340	3112	8.26	0.90
2013	REC 402	SORRISO, MT	352	2609	11.56	0.85
2013	REC 402	SORRISO, MT	314	2653	11.05	0.93
2013	REC 403	QUERENCIA, MT	187	3038	7.79	0.71
2013	REC 402	SAPEZAL, MT	53	3502	16.85	NA
2013	REC 402	SINOP, MT	334	3324	8.95	0.90
2014	REC 304	CRISTALINA, GO	210	3844	8.38	0.83
2014	REC 304	BRASILIA, DF	210	3107	10.90	0.85

Ano	Região Edafo-climática	Local	Nº de obsservações	Média (kg ha ⁻¹)	CV (%)	r _{gg'}
2014	REC 404	SANTA ROSA, TO	210	3209	9.96	0.79
2014	REC 403	CONFRESA, MT	198	3349	10.38	0.85
2014	REC 402	SORRISO, MT	189	3318	17.70	0.82
2014	REC 402	SORRISO, MT	206	2285	10.21	0.89
2014	REC 403	PORTO ALEGRE DO NORTE, MT	202	3532	7.42	0.89
2014	REC 403	QUERENCIA, MT	139	3613	11.72	0.85
2014	REC 402	SINOP, MT	173	3542	9.18	0.69
2014	REC 402	TAPURAH, MT	198	2676	8.08	0.88
2015	REC 304	BRASILIA, DF	84	3360	8.15	0.89
2015	REC 403	CANARANA, MT	82	3730	7.79	0.74
2015	REC 403	CANARANA, MT	83	2923	18.02	0.71
2015	REC 402	LUCAS DO RIO VERDE, MT	84	2900	9.33	0.88
2015	REC 402	LUCAS DO RIO VERDE, MT	84	2684	11.05	0.89
2015	REC 402	SORRISO, MT	55	3459	8.93	0.84
2015	REC 402	SORRISO, MT	60	2360	10.72	0.84
2015	REC 402	SINOP, MT	84	1930	26.58	0.83
2015	REC 402	SINOP, MT	78	3412	14.97	0.74