



ÉRICO AQUINO SANTOS BORGES

**IMPLICAÇÕES DA INTERAÇÃO GENÓTIPOS X
AMBIENTES NA RECOMENDAÇÃO DE CULTIVARES DE
SOJA NAS REGIÕES SOJÍCOLAS DO BRASIL**

**LAVRAS – MG
2018**

ÉRICO AQUINO SANTOS BORGES

**IMPLICAÇÕES DA INTERAÇÃO GENÓTIPOS X AMBIENTES NA
RECOMENDAÇÃO DE CULTIVARES DE SOJA NAS REGIÕES SOJÍCOLAS DO
BRASIL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado 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. José Airton Rodrigues Nunes
Orientador

Dra. Flávia Fernandes Carneiro
Coorientadora

**LAVRAS – MG
2018**

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

Borges, Érico Aquino Santos.

Implicações da interação genótipos x ambientes na recomendação de cultivares de soja nas regiões sojícolas do Brasil / Érico Aquino Santos Borges. – 2018.

30 p. : il.

Orientador: José Airton Rodrigues Nunes.

Coorientadora: Flávia Fernandes Carneiro.

TCC (mestrado profissional) - Universidade Federal de Lavras, 2018.

Bibliografia.

1. *Glycine max*. 2. Adaptabilidade. 3. Multiambientes. I. Nunes, José Airton Rodrigues. II. Carneiro, Flávia Fernandes. IV. Título.

ÉRICO AQUINO SANTOS BORGES

**IMPLICAÇÕES DA INTERAÇÃO GENÓTIPOS X AMBIENTES NA
RECOMENDAÇÃO DE CULTIVARES DE SOJA NAS REGIÕES SOJÍCOLAS DO
BRASIL**

**IMPLICATIONS OF GENOTYPE BY ENVIRONMENT INTERACTION IN
SOYBEAN CULTIVARS RECOMMENDATION IN SOYBEAN GROWING
REGIONS OF BRAZIL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado 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.

APROVADO em 27 de abril de 2018.

Dr. Luís Fernando Martins
Dra. Aurinelza Teixeira Condé

Syngenta
EPAMIG

Prof. Dr. José Airton Rodrigues Nunes
Orientador

Dra. Flávia Fernandes Carneiro
Coorientadora

**LAVRAS – MG
2018**

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus por me guiar, iluminar e me dar tranquilidade para seguir em frente com os meus objetivos mesmo nas dificuldades.

Ao Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas – Mestrado Profissional e à CAPES, pela oportunidade de cursar o mestrado.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo apoio concedido ao Mestrado Profissional em Genética e Melhoramento de Plantas.

À Syngenta, pelo incentivo ao meu desenvolvimento acadêmico, pela orientação e apoio nos trabalhos.

Ao meu orientador, Prof. Dr. José Airton, pelo exemplo no exercício de seu papel como professor demonstrando dedicação, incentivo e conhecimento.

Agradeço aos amigos que, em alguns momentos, compartilharam da preocupação e tensão como nas provas, qualificação e defesa. Em especial, cito meu amigo Wender Rezende.

Agradeço a minha esposa, Lorena, com quem hoje divido meus sonhos, felicidade e até mesmo os momentos mais difíceis. Ela que, por várias vezes, dormiu na sala à minha espera após horas de trabalho.

Por último, quero agradecer aos meus pais e irmãos pelo incentivo e compreensão das ausências nos momentos familiares.

RESUMO

A interação genótipos por ambientes (GxA) é um dos principais efeitos que influencia diretamente na recomendação de cultivares desenvolvidas pelos programas de melhoramento de plantas nos diferentes ambientes de cultivo. A cultura da soja apresenta a particularidade de ter sua recomendação no Brasil, levando em consideração a regionalização em macro e/ou mesorregiões. Objetivou-se, neste trabalho, avaliar as implicações da interação GxA na adaptabilidade de linhagens de soja no âmbito das meso e macrorregiões sojícolas em três anos agrícolas. Os dados utilizados neste trabalho foram fornecidos pela empresa Syngenta, provenientes de experimentos conduzidos nos anos agrícolas 2014/15, 2015/16, 2016/17 em 49 locais distribuídos em nove mesorregiões que compõem as macrorregiões sojícolas 1,2,3 e 4. O caráter avaliado foi a produtividade de grãos. Foram realizadas análises multilocais e multianos por mesorregião e por macrorregião. Constata-se que a maior parte da variação fenotípica foi atribuída aos fatores macroambientais associados aos locais e anos. A interação GxA se mostra presente dentro das mesorregiões e das macrorregiões, com destaque para a interação envolvendo os anos agrícolas, que resulta em mudança de ordenamento das cultivares, afetando a recomendação.

Palavras-chave: *Glycine max*; adaptabilidade; multiambientes; estabilidade.

ABSTRACT

The genotype by environment (GE) interaction is one of the main effects that directly influence the selection of cultivars developed by the plant breeding programs for different growing environments. The soybean crop has the particularity to its recommendation in Brazil considering the regionalization in macro and mesoregions. The aim of this paper was to evaluate the implications of the GE interaction on the adaptability of soybean lines in meso and macroregions from three years of soybean growing. The grain yield data were obtained from Syngenta experiments conducted during the crop growing years 2014/15, 2015/16, 2016/17 in 49 locations distributed in 9 mesoregions which belongs the soybean macroregions 1, 2, 3 and 4. Multi-site and multi-level analyzes were performed by mesoregion and macroregion. Most of the phenotypic variation was attributed to the macro-environmental factors associated with the years and locations. The GE interaction is present within the mesoregions and macroregions, with emphasis on the interaction involving the years, which results in a change in the ranking of the cultivars, affecting the recommendation.

Keywords: *Glycine max*; adaptability; multienvironments; stability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Macrorregiões sojícolas do Brasil e regiões edafoclimáticas – 3ª Aproximação Fonte: Kaster e Farias (2012)	17
Figura 2 – Dispersão e distribuição de frequência dos valores da acurácia seletiva e do coeficiente de variação ambiental nos ensaios de soja.....	19
Figura 3 – Proporções da variação fenotípica atribuídas aos efeitos de local, cultivar e interação cultivar x local em cada mesorregião por ano.	20
Figura 4 – Proporções da variação fenotípica atribuídas aos efeitos de local, cultivar, ano e as respectivas interações nas mesorregiões	21
Figura 5 – Proporções da variação fenotípica atribuídas aos efeitos de mesorregião, local e cultivar, e as respectivas interações nas macrorregiões.	22
Figura 6 – Proporções da variação fenotípica atribuídas aos efeitos de ano, genótipo, local dentro de mesorregião e mesorregião, e as respectivas interações nas macrorregiões.	23
Figura 7 – Ranqueamento de cultivares de soja nas Mesorregiões Sojícolas 102, 103, 201 e 204 em três anos agrícolas.	24
Figura 8 – Ranqueamento de cultivares de soja nas Mesorregiões Sojícola 301, 303, 304, 401 e 402 em três anos agrícolas.....	25
Figura 9 – Ranqueamento de cultivares de soja nas Macrorregião Sojícolas 1, 2, 3 e 4 em três anos agrícolas.	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Locais de condução dos ensaios, classificados em macro e mesorregiões.....	16
---	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	REFERENCIAL TEÓRICO	10
2.1	Melhoramento da soja.....	10
2.2	Interação Genótipos x Ambientes.....	12
3	MATERIAL E MÉTODOS	14
3.1	Detalhamento experimental	15
3.2	Análises estatísticas	15
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	18
5	CONCLUSÕES	26
	REFERÊNCIAS	27

1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma das principais culturas agrícolas do Brasil e do mundo, principalmente como fonte de proteína e óleo para a alimentação humana e animal (BEZERRA et al., 2015). No ano agrícola 2016/2017 a produção brasileira foi de 114 milhões de toneladas de grãos, ocupando uma área de 34 milhões de hectares (CONAB, 2018).

Em decorrência dessa grande importância socioeconômica, é necessário constantemente buscar melhorias para a cultura da soja, com o objetivo de alcançar maiores produtividades de grãos. Todavia, a expressão fenotípica deste caráter é influenciada por fatores genéticos e ambientais e, desta maneira, aumento de produtividade tem sido obtido pelo aprimoramento no manejo tecnológico da cultura (melhoria do ambiente), e mediante o desenvolvimento de novas cultivares mais adaptadas e produtivas nos ambientes de cultivo nas regiões sojícolas.

Para desenvolver cultivares de soja amplamente adaptadas às regiões de cultivo, os programas de melhoramento avaliam as linhagens em extensas redes de ensaios. Esse esforço é necessário, uma vez que é comumente observado o efeito da interação genótipos x ambientes (GxA), ou seja, sensibilidade diferencial das linhagens frente aos ambientes, sejam estes locais, safras ou anos agrícolas (SILVA; DUARTE, 2006; PELÚZIO et al., 2008). A presença desse efeito impõe um enorme desafio adicional aos melhoristas no que concerne ao posicionamento no mercado de novas cultivares, na medida em que impacta diretamente no risco de recomendação.

Diante do desafio de lidar com a interação GxA, os programas de melhoramento de soja têm lançado mão de estratégias com o intuito de mitigar seu efeito, a exemplo da identificação de linhagens que associem adaptabilidade e estabilidade produtiva. Contudo, existe uma grande diversidade de ambientes de cultivo da soja, no Brasil, o que diminui sobremaneira a chance de identificar cultivares amplamente adaptadas. Ademais, a cultura da soja apresenta particularidades adicionais que podem limitar recomendações amplas, como é o caso do grupo de maturação. Assim, uma estratégia que vem sendo utilizada é a realização de ensaios com base na Regionalização dos Testes de Valor de Cultivo e Uso proposta pela Embrapa (KASTER; FARIAS, 2012).

Essa regionalização estratifica as regiões de cultivo de soja, no Brasil, em macrorregiões que, por sua vez, são subdivididas em regiões edafoclimáticas (mesorregiões). Contudo, são escassas as informações sobre a influência do ambiente e da interação GxA nessas mesorregiões. Há a expectativa de que a magnitude da interação GxA dentro de

mesorregiões seja menor do que entre mesorregiões de uma dada macrorregião. Todavia, esses ensaios são repetidos por alguns anos (geralmente três a quatro anos). Porém, os estudos de interação GxA, normalmente não consideram o fator ano, o que pode gerar prejuízo na identificação dos genótipos mais adaptados e estáveis. Ademais, alguns estudos têm ratificado acerca dos efeitos da interação genótipos por anos agrícolas em soja e seus impactos na recomendação (TOLEDO et al., 2006; VASCONCELOS et al., 2010).

Ante o exposto, objetivou-se, neste trabalho, avaliar as implicações da interação GxA na adaptabilidade e estabilidade de linhagens de soja no âmbito das meso e macrorregiões sojícolas em três anos agrícolas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Melhoramento da soja

Acredita-se que a soja cultivada [*Glycine max* (L.) Merrill] tenha sido originada da soja na forma selvagem (*Glycine soja* Sieb. e Zucc.), tendo como centro de origem a China (CHUNG; SING, 2008). Após sua domesticação, há relatos que a soja foi cultivada na Europa, no ano de 1739 e, posteriormente, na América do Norte, em 1765 (HYMOWITZ, 2004; CHUNG; SING, 2008).

No Brasil, a primeira referência da cultura ocorreu no ano de 1882, por meio da introdução de genótipos na Bahia. Nessa época, a soja ainda não era adaptada a baixas latitudes, o que desfavoreceu seu desenvolvimento na região. Pela busca de um clima mais próximo de locais tradicionais de cultivo, os genótipos foram levados para regiões de maior latitude, como São Paulo, por volta de 1891 e, em seguida, Rio Grande do Sul, onde se adaptou melhor às condições climáticas (CALVO; KIIHL, 2006).

Entre 1920 e 1930, houve introdução de germoplasma dos Estados Unidos no país, marcando o início, de fato, do melhoramento genético de soja no Brasil. Dentre vários institutos de pesquisa criados desde esta época, o maior avanço ocorreu em 1975, pela criação do Centro Nacional de Pesquisa da Soja da Embrapa, no Paraná. Além disso, também surgiram as primeiras empresas privadas de melhoramento genético de soja no Brasil (CALVO; KIIHL, 2006).

Todas essas iniciativas contribuíram com a expansão da cultura para outras regiões, destacando-se Mato Grosso, o maior estado produtor. Vale enfatizar que a expansão da soja para outras regiões foi possível, principalmente, a adaptação das cultivares em baixas

latitudes, por meio da incorporação de alelos que atrasam o florescimento sob fotoperíodo indutor, isto é, alelos que condicionam o período juvenil longo. Sendo a soja uma planta de dias curtos, ocorre o florescimento precoce e redução do período vegetativo em locais com maior número de horas de luz ao fotoperíodo indutor. Com os alelos de período juvenil longo, a soja expandiu-se para ambientes bastante diversos que englobam altas e baixas latitudes (OLIVEIRA et al., 2012).

A Lei de Proteção de Cultivares (Lei n. 9.456, de 25.4.1997) e da Lei de Patentes (Lei n. 9.279 de 14.5.1996) também foram relevantes para o melhoramento de soja no Brasil. Estas possibilitaram a proteção intelectual das novas cultivares, bem como de inovações tecnológicas no setor de genética e melhoramento de plantas. Como consequência, as empresas públicas e privadas, cada vez mais, investiram em programas de melhoramento, desenvolvendo novas cultivares de soja (CALVO; KIIHL, 2006).

De maneira geral, os avanços proporcionados pelo melhoramento genético de soja ocorrem desde a domesticação da cultura. Nesse processo, os principais avanços foram: aumento do tamanho das sementes, alteração na forma e tamanho das folhas, hábito de crescimento ereto, ausência de deiscência das vagens, entre outros (WANG; LI, 2011). Posteriormente, outro grande avanço foi o cultivo da soja, em regiões de baixa latitude, em razão da incorporação de alelos que condicionam o período juvenil longo, como já mencionado.

Outras contribuições importantes proporcionadas pelo melhoramento na cultura da soja foram o desenvolvimento de genótipos com altura e inserção da primeira vagem adequada para colheita mecanizada; desenvolvimento de cultivares resistentes ao herbicida glifosato; resistência a doenças, como pústula bacteriana (*Xanthomonas axonopodis* pv. *glycinea*) e nematoide de cisto (*Heterodera glycines*); resistência a pragas, como falsa medideira (*Chrysodeixis includens*) (CALVO; KIIHL, 2006; SEDIYAMA, 2013; YANO et al., 2015).

A alta produtividade de grãos, resistência a estresses bióticos e abióticos e precocidade, de modo geral, são os principais objetivos de um programa de melhoramento de soja atualmente. Para se atingir esses objetivos, o planejamento e a escolha do método são essenciais.

Antes de se iniciar o programa, primeiro deve-se verificar a variabilidade existente no banco de germoplasma e, em seguida, selecionar uma população-base. Esta começa com a hibridação artificial entre parentais contrastantes, com características de interesse à qual se deseja inserir na nova cultivar. Posteriormente, deve-se selecionar e avaliar os genótipos

oriundos de populações segregantes até estas atingirem certo grau de homozigose. A última etapa, basicamente, é submeter as linhagens selecionadas a ensaios preliminares, intermediários e finais, a fim de selecionar as superiores (LAVORANTI et al., 2004).

As estratégias de melhoramento mais utilizadas no avanço de gerações são: genealógico (*pedigree*), SSD (*single seed descent*), população (*bulk*), descendente de uma única vagem (SPD – *single pod descent*) e retrocruzamento (SEDIYAMA, 2013).

Independentemente da estratégia de melhoramento, as linhagens obtidas são conduzidas em diversos ensaios envolvendo um número maior de locais e safras em diferentes anos, para se estabelecer o valor de cultivo e uso (VCU). O estudo da interação genótipos por ambientes (GxA) é essencial nessas etapas, visando à seleção de genótipos superiores (BORÉM; MIRANDA, 2013; MALOSETTI et al., 2013).

Os ensaios de VCU são requisitos do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) para a inscrição de cultivares de soja, no Registro Nacional de Cultivares (RNC), os quais devem ser realizados em, pelo menos, um local por região edafoclimática, durante dois anos. Diante disso, a Embrapa Soja propôs, em 2002, uma regionalização dos testes de VCU e indicação de cultivares de soja para o Brasil (primeira aproximação). Em 2005, após o modelo ser aprimorado, foi lançada a segunda aproximação da regionalização e, em 2012, foi lançada a terceira aproximação, que é utilizada atualmente (KASTER; FARIAS, 2012).

De acordo com a terceira aproximação, a regionalização compreende cinco macrorregiões, compostas por 20 regiões edafoclimáticas (mesorregiões). A Macrorregião 1 (MRS 1) abrange a região Sul do Brasil e compreende as mesorregiões 101 a 104. A MRS 2 localiza-se no Centro-Sul do Brasil e compreende as mesorregiões 201 a 204. A MRS 3 está localizada predominantemente na região Sudeste e compreende as mesorregiões 301 a 304. A MRS 4 está predominantemente na região Centro-Oeste e compreende as mesorregiões 401 a 405. Por fim, a MRS 5 está localizada nas regiões Norte e Nordeste e compreende as mesorregiões 501 a 503 (KASTER; FARIAS, 2012).

2.2 Interação Genótipos x Ambientes

O valor de um indivíduo, ou seja, o seu fenótipo, é determinado pela constituição genética (genótipo) e pela contribuição do ambiente (CHAVES, 2001). Contudo, quando vários genótipos são avaliados em vários ambientes, normalmente ocorre um efeito adicional, proporcionado pela interação entre os genótipos e os ambientes (CRUZ et al., 2012).

A interação GxA é definida como o comportamento diferenciado dos genótipos frente às variações ambientais (CRUZ et al., 2014). Essa interação é considerada uma das principais dificuldades no processo de melhoramento de plantas, pois dificulta a recomendação de genótipos e pode provocar superestimação dos ganhos genéticos, o que resulta em menor êxito dos programas de melhoramento (SILVA; DUARTE, 2006).

A interação GxA pode ser de natureza simples ou complexa. A interação simples ocorre quando não há mudança na classificação dos genótipos nos diferentes ambientes. Esse tipo de interação não causa problema na recomendação, pois os melhores genótipos em um ambiente também o são em outro (CRUZ et al., 2014). A interação complexa ocorre quando há mudança na classificação dos genótipos em relação aos ambientes avaliados. Nesse caso, a seleção dos genótipos com base na média considerando os ambientes não é adequada, podendo acarretar em seleção de genótipos mal adaptados a determinadas situações (CHAVES, 2001).

A interação GxA é comum em soja e deve ser considerada em todas as etapas do melhoramento dessa cultura (PEREIRA, 2016). Para diminuir o efeito da interação GxA, recomenda-se a condução de experimentos em grande número de locais e anos, o que permite avaliar a magnitude da interação e seu possível impacto sobre a seleção e a recomendação de cultivares (SILVA; DUARTE, 2006).

No estudo da interação genótipo x ambiente, o ambiente é definido como a combinação de local e ano, como Uberlândia em 2016. Então, nesse caso, a análise de variância considera dois fatores e é particionada em genótipo (G), ambiente (A) e interação genótipo x ambiente (GA). Porém, local (L) e ano (Y) podem ser considerados separadamente e, desse modo, a análise de variância considera três fatores e é particionada em G, L, Y, GL, GY, LY e GLY (GAUCH, ZOBEL, 1996).

Em cultivos anuais, como soja, a repetição no tempo dos ensaios de teste de genótipos é importante, pois a estimação dos efeitos da interação genótipo x local baseada em um único ano tende a ser inflada pelos efeitos não repetíveis (ANNICCHIARICO, 2002, 2009).

Quando é detectada interação GxA a partir da análise de variância conjunta dos ensaios, é possível adotar-se duas estratégias para minimizar os seus efeitos. A primeira é a estratificação ambiental, que se baseia na recomendação particularizada dos genótipos para sub-regiões. Nesse caso, ambientes semelhantes são agrupados em sub-regiões dentro das quais a interação é não significativa (RAMALHO et al., 2012). Além disso, quando ocorrem ambientes com padrões similares de respostas de genótipos, a estratificação permite reduzir o número de ambientes da rede de ensaios (MENDONÇA et al., 2007). Contudo, mesmo com a

estratificação ambiental, uma fração da interação ainda pode permanecer, em decorrência de fatores ambientais incontroláveis, como temperatura e pluviosidade (CRUZ et al., 2012).

A segunda estratégia é a recomendação generalizada para toda uma região, baseada na partição do comportamento dos genótipos em parâmetros de adaptabilidade e estabilidade (CHAVES, 2001; MAIA et al., 2013).

Uma terceira estratégia que pode ser utilizada para lidar com a interação GxA é a identificação de genótipos que associem elevada adaptabilidade e estabilidade fenotípica. A adaptabilidade pode ser definida como a capacidade dos genótipos em responder vantajosamente aos estímulos ambientais, e a estabilidade pode ser definida como a capacidade dos genótipos apresentarem comportamento altamente previsível frente aos estímulos ambientais (CRUZ et al., 2014). A maioria dos estudos sobre interação GxA em soja abordam adaptabilidade e estabilidade, e uma menor parte aborda a estratificação ambiental (BRANQUINHO et al., 2014). Nesse sentido, os programas de melhoramento de soja buscam genótipos altamente produtivos, com estabilidade de produção e ampla adaptabilidade aos diversos ambientes que compreendem a região em que são recomendados (SILVA; DUARTE, 2006).

Para avaliar a adaptabilidade e a estabilidade diversos métodos podem ser utilizados, os quais se diferem quanto ao conceito de estabilidade e aos procedimentos biométricos adotados (PRADO et al., 2001). Segundo Cargnelutti Filho et al. (2007), esses métodos podem ser dispostos em diversas classes, como aqueles baseados em análise de variância (YATES; COCHRAN, 1938; PLAISTED; PETERSON, 1959; WRICKE, 1965), regressão linear (FINLAY; WILKINSON, 1963; EBERHART; RUSSELL, 1966; TAI, 1971), regressão bissegmentada (VERMA et al., 1978; SILVA; BARRETO, 1985; CRUZ et al., 1989) e em estatísticas não-paramétricas (LIN; BINNS, 1988; ANNICCHIARICO, 1992).

A escolha do método depende de características dos dados experimentais, como o número de ambientes, da precisão requerida do tipo de informação desejada (CRUZ et al. 2012). Esses autores também ressaltam que alguns métodos são alternativos, e outros são complementares, os quais podem ser utilizados conjuntamente.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Os dados utilizados no presente trabalho foram fornecidos pela empresa Syngenta, referentes aos ensaios que compõem a rede de experimentação do programa de melhoramento de soja.

3.1 Detalhamento experimental

Os experimentos foram conduzidos nos anos agrícolas 2014/15, 2015/16, 2016/17 em 49 locais distribuídos em nove mesorregiões que compõem as macrorregiões sojícolas 1, 2, 3 e 4 de acordo com a regionalização proposta por Kaster e Farias (2012) (TABELA 1; FIGURA 1). Dessa forma, a rede de ensaios considerada foi composta por 147 experimentos.

Os experimentos foram conduzidos em delineamento de blocos casualizados com três repetições. As parcelas foram constituídas por quatro linhas de 5 m, espaçadas por 0,5 m, cujas duas linhas centrais foram consideradas como parcela útil. Nos experimentos, foram avaliadas 32 linhagens, contudo, para fins de estudo da interação GxA no âmbito de mesorregiões e macrorregiões apenas as linhagens comuns, no caso as cultivares comerciais, no total de 41, foram consideradas. As cultivares comerciais testadas foram classificadas em grupos de maturidade de 5.6 a 8.5 (ALLIPRANDINI et al., 2009), sendo, portanto, adequadas para o cultivo nas respectivas mesorregiões de teste. Na Tabela 1, são apresentados os números de cultivares comerciais testadas em cada ensaio.

As sementeiras foram realizadas no período apropriado de cada região, utilizando-se semeadora experimental de parcelas. Durante toda a condução dos experimentos foram seguidos os tratos culturais necessários para assegurar a padronização e qualidade experimental e expressão do potencial produtivo das cultivares avaliadas.

A colheita foi realizada por meio de colhedora experimental automotriz, a qual registrava os dados de peso e umidade de cada parcela útil (duas linhas centrais). Desse modo, o caráter avaliado nos experimentos foi a produtividade de grãos, obtida a partir de extrapolação do peso da parcela para kg ha^{-1} , ajustado para a umidade de 13%.

3.2 Análises estatísticas

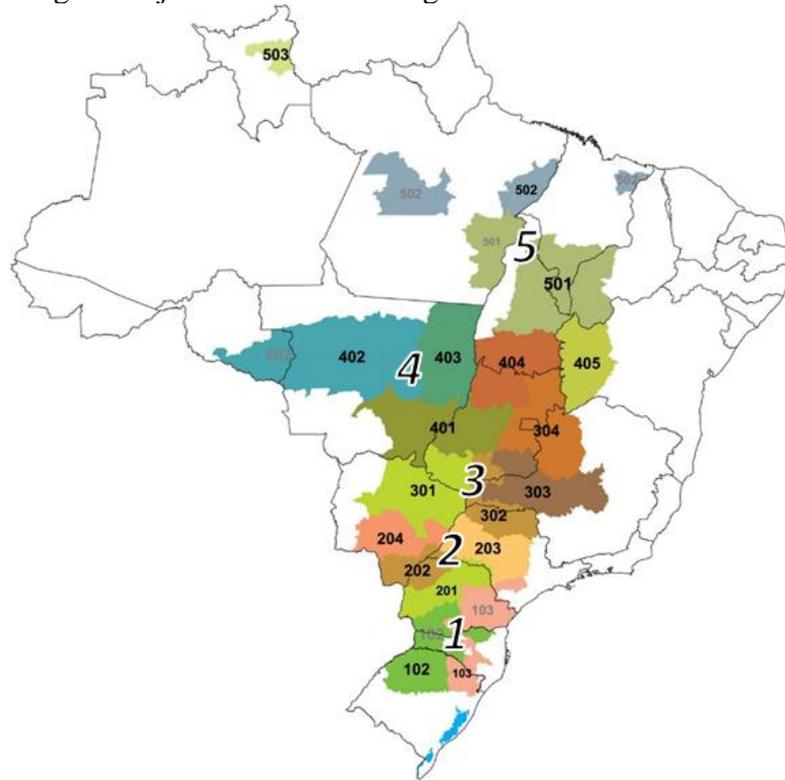
A fim de avaliar a precisão experimental, adotou-se o coeficiente de variação ambiental (CV) e, também, a acurácia seletiva (AS) (RESENDE; DUARTE, 2007), dada por $AS = \sqrt{1 - \frac{1}{F_g}}$, em que F_g é o valor do teste F (de Snedecor) para cultivares. Os valores de AS variam de zero a um, com $AS \rightarrow 0$ quando $F_g < 1$. Como indicativo de boa qualidade experimental adotou-se $AS \geq 70\%$, conforme preconizam Resende e Duarte (2007).

Tabela 1 - Locais de condução dos ensaios, classificados em macro e mesorregiões.

ZMR*	Número de Cultivares Comerciais	MS*	Município	Altitude (m)	Latitude	Longitude	
1	8	102	Não Me Toque – RS	436	28°29'2" S	52°46'26" W	
			Passo Fundo – RS	640	27°50'23" S	54°28'26" W	
			Cruz Alta – RS	408	28°37'4" S	53°0'39" W	
			Campos Novos – SC	853	28°4'32" S	51°24'30" W	
		103	Ipiranga – PR	830	25°4'35" S	50°24'57" W	
			Prudentópolis – PR	792	25°8'33" S	50°58'38" W	
			Castro – PR	1008	24°51'14" S	49°59'25" W	
			Candói – PR	946	25°31'55" S	51°48'5" W	
	Lapa – PR		942	25°45'27" S	49°44'21" W		
	Arapoti – PR		864	24°18'0" S	49°51'44" W		
	2	10	201	Palotina – PR	550	24°20'32" S	53°51'39" W
				Arapongas – PR	835	23°28'59" S	51°25'25" W
				Cambé – PR	668	23°19'18" S	51°19'6" W
				Cafelândia – SP	675	24°22'15" S	53°10'28" W
Faxinal – PR				974	23°56'51" S	51°18'34" W	
Iguaraçu – PR				410	23°9'41" S	51°33'7" W	
Bela Vista do Paraíso – PR				550	23°8'16" S	51°11'42" W	
São Miguel do Iguaçu – PR				340	25°25'24" S	53°7'39" W	
Cascavel – PR				715	25°5'25" S	53°39'29" W	
Tamarana – PR				761	23°37'42" S	51°5'49" W	
204		Dourados – MS	416	22°13'46" S	54°42'1" W		
		Itaporã – MS	344	22°4'17" S	54°47'9" W		
		Maracaju – MS	515	21°37'29" S	55°19'53" W		
		Ponta Porã – MS	630	22°15'42" S	55°35'45" W		
3	12	301	Jataí – GO	692	17°55'13" S	51°42'37" W	
			Mineiros – GO	917	17°26'26" S	52°52'28" W	
			Rio Verde – GO	634	17°55'49" S	50°47'32" W	
			Santa Helena de Goiás – GO	538	17°22'39" S	50°23'52" W	
			Montividiu – GO	801	17°12'13" S	51°4'4" W	
		303	Catalão – GO	741	17°53'27" S	47°21'52" W	
			Uberlândia – MG	901	18°57'44" S	48°5'9" W	
			Patos de Minas – MG	865	18°46'42" S	46°33'52" W	
		304	Planaltina – GO	1185	16°32'18" S	47°31'20" W	
			Cabeceiras – GO	949	15°51'27" S	46°36'31" W	
			Cristalina – GO	1003	16°13'5" S	47°37'50" W	
			4	5	401	Chapada dos Guimarães – MT	632
Primavera do Leste – MT	630	15°27'46" S				54°15'35" W	
Santo Antônio do Leste – MT	598	14°51'39" S				53°27'1" W	
Rondonópolis – MT	442	16°38'6" S				54°39'16" W	
Campo Novo Parecis – MT (1)	587	13°41'42" S				58°43'40" W	
402	Campo Novo Parecis – MT (2)	572		13°40'35" S	57°47'43" W		
	Deciolândia – MT	609		14°4'5" S	57°26'30" W		
	Diamantino – MT	572		13°24'38" S	58°46'32" W		
	Nova Mutum – MT	446		13°33'3" S	56°1'7" W		
	Sorriso – MT	382		12°41'49" S	55°59'7" W		
Tapurah – MT	405	12°50'49" S	56°28'15" W				
Sapezal – MT	614	13°55'31" S	57°52'22" W				
Lucas do Rio Verde – MT	330	12°58'13" S	55°56'22" W				
Nova Ubiratã – MT	368	11°51'47" S	55°23'14" W				

*MR e MS: respectivamente, macrorregiões e mesorregiões sojícolas do Brasil, de acordo com a Regionalização dos Testes de Valor de Cultivo e Uso e da indicação de cultivares de soja - Terceira aproximação (KASTER; FARIAS, 2012). Fonte: Do autor (2018).

Figura 1 – Macrorregiões sojícolas do Brasil e regiões edafoclimáticas – 3ª Aproximação.



Fonte: Kaster e Farias (2012).

Foram realizadas as análises multiambientais por mesorregião e por macrorregião em cada ano agrícola e também envolvendo os três anos agrícolas com recuperação da informação interblocos pela abordagem de modelos mistos com estimação das componentes da variância pelo método da máxima verossimilhança restrita (REML), conforme descrito em Resende (2002) e Bernardo (2010). A seguir são descritos os modelos estatísticos das análises conjuntas por macrorregião em cada ano agrícola (1) e multianos (2):

$$y_{ijkn} = \mu + m_n + l_{k(n)} + b_{j(kn)} + c_i + cm_{in} + cl_{ik(n)} + e_{ijkn} \quad (1)$$

$$y_{ijkqn} = \mu + a_q + m_n + l_{k(n)} + am_{qn} + al_{qk(n)} + b_{j(kqn)} + c_i + cm_{in} + cl_{ik(n)} + ca_{iq} + cma_{iqn} + cla_{ikq(n)} + e_{ijkqn} \quad (2)$$

em que: y_{ijkn} , y_{ijkqn} : valor fenotípico; μ = média geral; m_n = efeito da mesorregião n ; $l_{k(n)}$: efeito do local k dentro de mesorregião n ; $b_{j(kn)}$: efeito do bloco j dentro de cada local k na mesorregião n , sendo $b_{j(kn)} \sim N(0, \sigma_b^2)$; $b_{j(kqn)}$: efeito do bloco j dentro de cada local k na mesorregião n dentro do ano q , sendo $b_{j(kqn)} \sim N(0, \sigma_{b/a}^2)$; c_i : efeito da cultivar i ; cm_{in} : efeito da interação entre cultivar i e mesorregião n ; $cl_{ik(n)}$: efeito da interação entre cultivar i e local k

dentro da mesorregião n ; a_q : efeito do ano q ; am_{qn} : efeito da interação entre ano q e mesorregião n ; $al_{qk(n)}$: efeito da interação entre ano q e local k na mesorregião n ; ca_{iq} : efeito da interação entre cultivar i e ano q ; cma_{iqn} : efeito da interação entre cultivar i , mesorregião n e ano q ; $cla_{ikq(n)}$: efeito da interação entre cultivar i , local k na mesorregião n dentro do ano q ; e_{ijkn} , e_{ijkqn} = erro experimental, sendo $e_{ijkn}, e_{ijkqn} \sim N(0, \sigma_e^2)$.

A partir das análises multilocais e multianos supracitadas foram quantificadas as proporções da variação fenotípica atribuídas aos efeitos ambientais (locais, mesorregiões e anos), de cultivares e das interações cultivares x ambientes. Além disso, foi avaliada a correspondência nos ordenamentos das cultivares testadas nas mesorregiões sojícolas por ano agrícola e na média dos anos.

As análises estatísticas foram realizadas utilizando o procedimento PROC MIXED do SAS versão 9.4 (STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE, 2015).

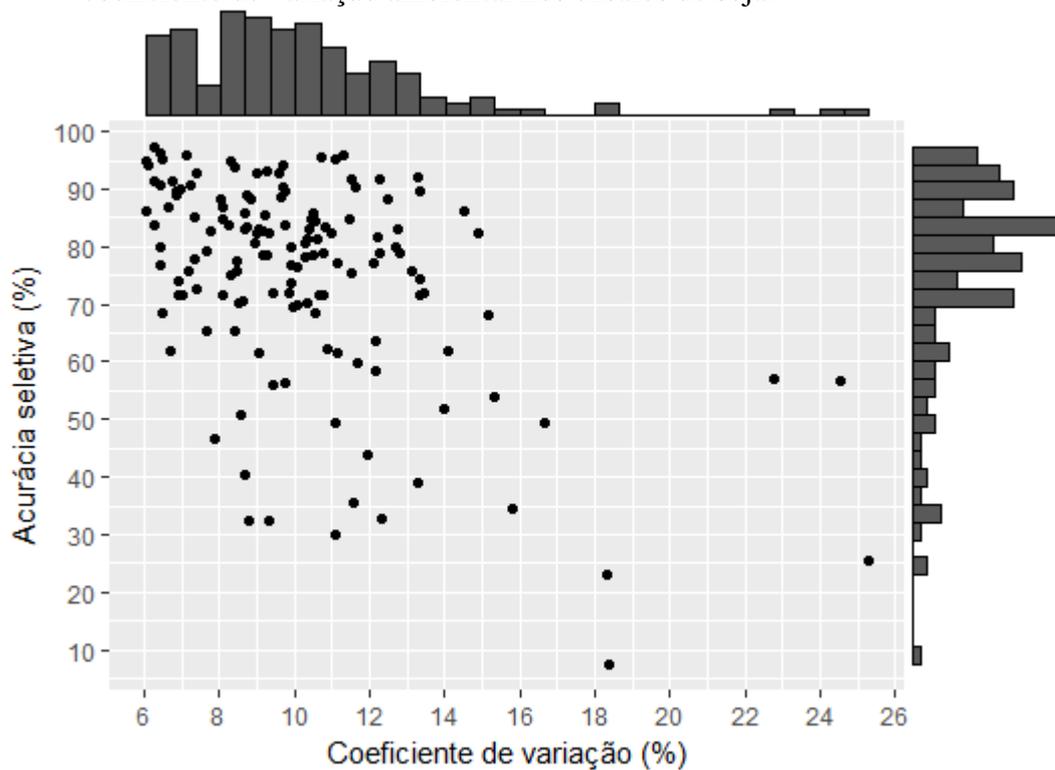
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A média dos coeficientes de variação (CV), considerando todos os experimentos, foi 10,32%. Dentre os experimentos, 77% apresentaram CV abaixo de 12% (Figura 2). O CV é um parâmetro estatístico relacionado com a precisão experimental e quanto menor a sua magnitude, maior é a precisão. A média de CV observada ficou abaixo do exigido pelo MAPA para ensaios de VCU de soja (20%) (BRASIL, 2004), e também próxima ao relatado em alguns trabalhos na literatura. Barros et al. (2008), ao avaliarem seis ensaios de soja obtiveram um CV médio de 12% e Storck et al. (2010) em estudo envolvendo 216 ensaios de soja, o CV médio obtido foi de 13,3%.

A média das acurácias seletivas (AS) dos experimentos foi 74,89%. Observou-se que 74% dos ensaios apresentaram AS acima de 70%, considerada alta, e que apenas 6% dos experimentos apresentaram AS abaixo de 40%, que é considerada baixa (Figura 2; RESENDE; DUARTE, 2007). Segundo esses autores, a AS é um importante parâmetro estatístico na avaliação da qualidade experimental de ensaios de avaliação de cultivares, pois considera, simultaneamente, o coeficiente de variação, o número de repetições e a variância genética entre cultivares. Desse modo, as estimativas de AS evidenciam a elevada confiabilidade das informações experimentais para estimação dos valores genotípicos das cultivares testadas. Esse resultado é concordante aos apresentados por Storck et al. (2010), que obtiveram, na média de 216 ensaios de soja, uma AS de 77%. Os autores relataram ainda que, dentre os 216 ensaios, 76,4% apresentaram, de acordo com as estimativas AS, precisão

alta ou muito alta e apenas 6,9% apresentaram precisão baixa. Apesar dos resultados de AS e CV não apresentarem relação perfeitamente linear, notou-se a concordância da classificação dos ensaios como de precisão alta – elevada AS e baixo CV (FIGURA 2).

Figura 2 – Dispersão e distribuição de frequência dos valores da acurácia seletiva e do coeficiente de variação ambiental nos ensaios de soja.



Fonte: Do autor (2018).

A partir das análises multilocais por mesorregião em cada ano agrícola, foi observado efeito significativo ($P < 0,05$) para cultivares, locais e interação cultivares x locais. Em geral, o efeito de local foi predominante na variação fenotípica (62%), o que decorre das diferenças macroambientais, enquanto que os efeitos de cultivar e da interação Cultivares x Locais corresponderam a 18% e 19%, respectivamente (FIGURA 4). Yokomizo et al. (2013) também verificaram predomínio do efeito de locais na variação (82%), e que apenas 8% foi decorrente do efeito de genótipos. No presente trabalho, a baixa contribuição das cultivares para a variação pode ser explicada pela seleção praticada, de modo a manter nas etapas avançadas dos ciclos de melhoramento apenas as linhagens de soja superiores e, conseqüentemente, fenotipicamente mais similares (CHAVES, 2001).

Pela Figura 3, destaca-se, ainda, que a partição da variação fenotípica não foi homogênea entre as mesorregiões. Por exemplo, diferente do que ocorreu na maioria das

mesorregiões, na Mesorregião 103 (ano 2015), Mesorregião 303 (anos 2015 e 2016), Mesorregião 304 (anos 2014 e 2015) e Mesorregião 401 (ano 2015) os efeitos de cultivar e da interação cultivar x local foram acentuados, enquanto que o efeito de local foi menos expressivo. Isso indica que a magnitude da interação é dependente das mesorregiões. Portanto, a interação cultivar x local contribui expressivamente para a variação do caráter produtividade em soja, demonstrando que não deve ser negligenciada.

Figura 3 – Proporções da variação fenotípica atribuídas aos efeitos de local, cultivar e interação cultivar x local em cada mesorregião por ano.

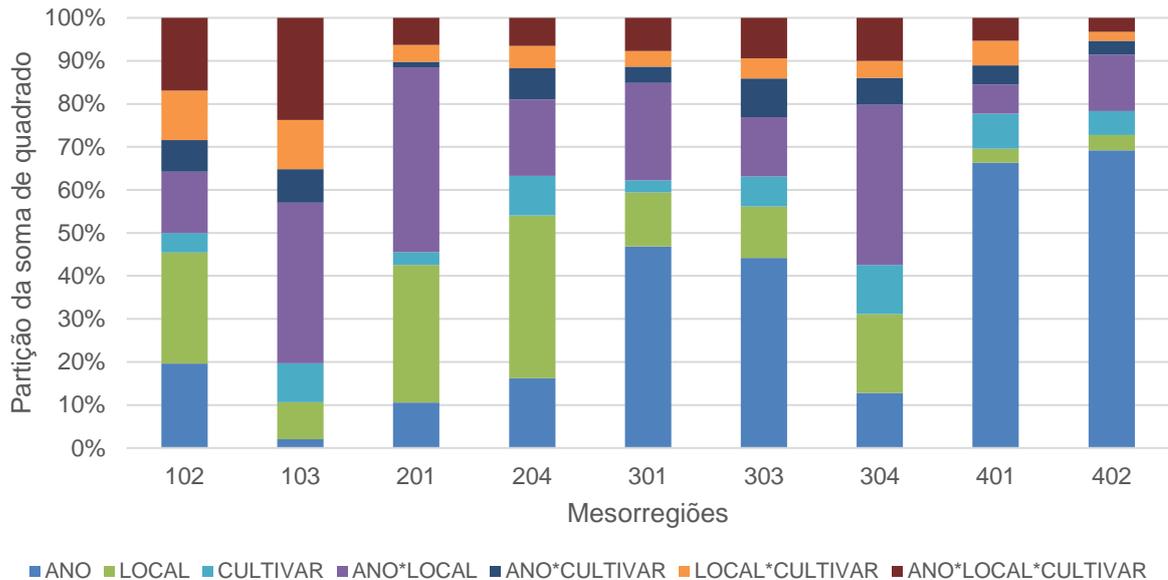


Fonte: Do autor (2018).

Quando o fator ano foi considerado na análise da interação G x A (ambiente particionado em ano e local), verificou-se também influência das mesorregiões na partição das somas de quadrados (FIGURA 4). Os efeitos que mais contribuíram para variação foram ano (48%), local (12%) e a interação ano x local (20%). Vasconcelos et al. (2010) avaliaram, na cultura da soja, os efeitos de ano, local, genótipo e as respectivas interações na variação fenotípica e também verificaram predomínio dos efeitos de ano, local e ano x local. Toledo et al. (2006), ao avaliarem uma rede de ensaios de soja subdividida por grupos de maturidade, verificaram interação ano x local significativa em todos os grupos. Os efeitos das interações ano x genótipo (4%), local x genótipo (4%) e ano x local x genótipo (6%) contribuíram, em média, com 14% da variação fenotípica dentro das mesorregiões. Esse resultado evidencia que os fatores ano e local influenciaram na sensibilidade diferencial das cultivares de soja em magnitudes semelhantes, contudo a interação tripla, indica que o padrão das interações

cultivares por locais foi dependente do ano (FIGURA 3). Toledo et al. (2006) também observaram menor fração da variação atribuída aos efeitos de interação GxA. Uma vez que se depara com um cenário em que a variação da interação é baixa e os genótipos apresentam média alta, tem-se a possibilidade de identificar genótipos com adaptabilidade ampla.

Figura 4 – Proporções da variação fenotípica atribuídas aos efeitos de local, cultivar, ano e as respectivas interações nas mesorregiões.

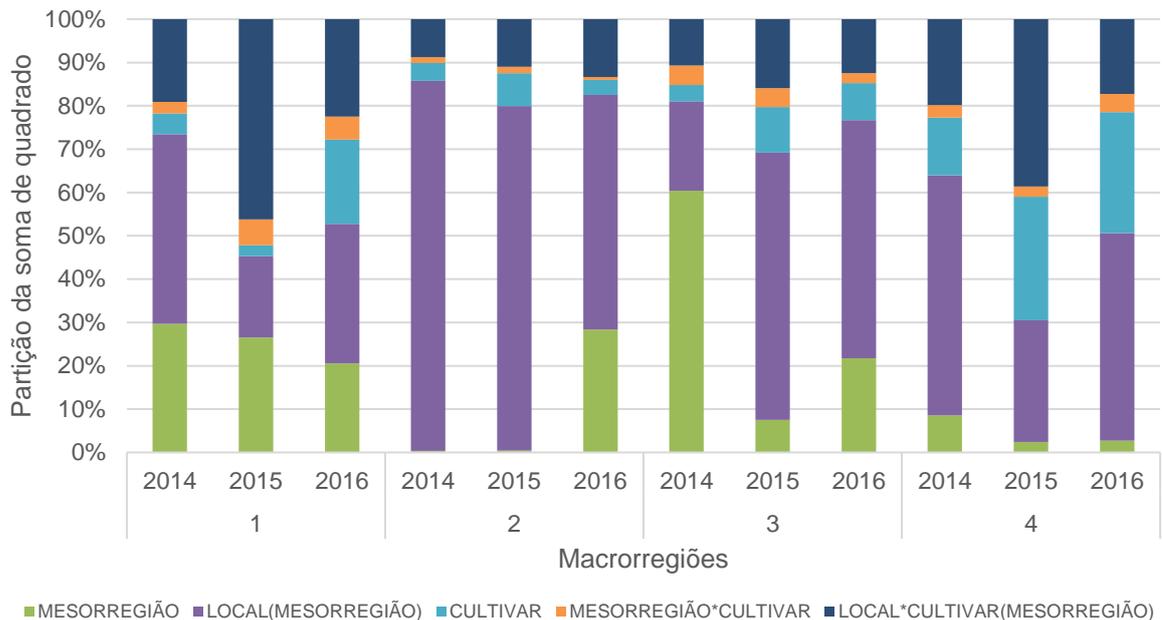


Fonte: Do autor (2018).

A partição da variação fenotípica dentro das macrorregiões ratificou o predomínio do efeito de local na variação (FIGURA 5). Além disso, essa análise também demonstrou a contribuição das mesorregiões, em algumas das macrorregiões avaliadas, na variação observada. Quando foram considerados todos os efeitos em uma única análise (ano, local, mesorregião, cultivar e as interações), observou-se que os efeitos que mais contribuíram para a variação foram ano, mesorregião, local dentro de mesorregião, ano x mesorregião e ano x local dentro de mesorregião (FIGURA 6). Porém, a contribuição desses efeitos foi altamente dependente das macrorregiões.

Em termos de interação cultivares por ambientes nas macrorregiões, diferente do que era esperado, notou-se que interação cultivares x mesorregiões foi de menor magnitude relativo à interação cultivares x locais dentro de mesorregiões (FIGURAS 6 e 7). Além disso, o ano agrícola exerceu forte influência no comportamento das cultivares nos locais (FIGURA 6).

Figura 5 – Proporções da variação fenotípica atribuídas aos efeitos de mesorregião, local e cultivar, e as respectivas interações nas macrorregiões.



Fonte: Do autor (2018).

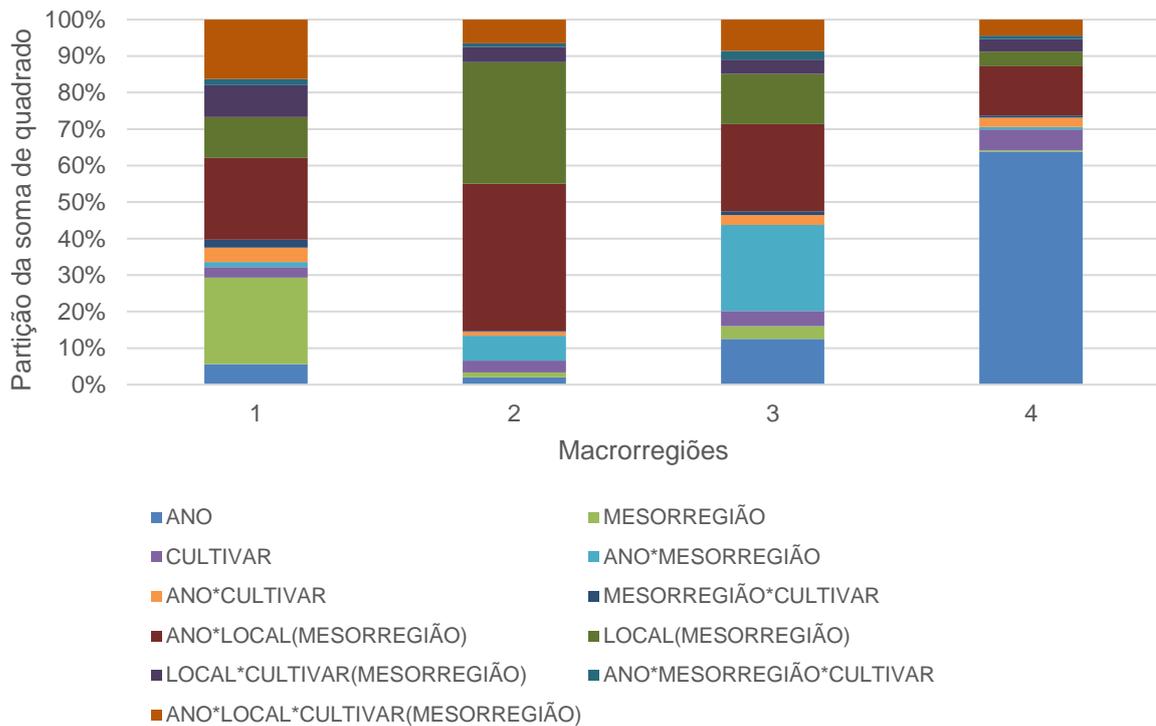
O ambiente, considerado na interação GxA, refere-se a locais (variação espacial) e anos (variação temporal). As variações no ambiente podem ser agrupadas em previsíveis e imprevisíveis. Exemplos de variações previsíveis são tipo de solo, tecnologias aplicadas, época de plantio, latitude e altitude. Exemplos de variações imprevisíveis estão relacionadas, principalmente, a variações erráticas do clima, como chuvas, temperatura e ocorrência de geadas (CHAVES, 2001). Desse modo, as variações imprevisíveis, que mais dificultam a determinação da estabilidade dos genótipos, estão mais associadas ao efeito de ano do que de local.

Ambos os efeitos, ano e local, têm relevância no estudo da interação GxA. Por isso, as redes de ensaio, visando à recomendação de cultivares são compostas por ensaios em vários locais e anos, embora muitas vezes as análises sejam feitas ano a ano. Chaves (2001) afirma que não é incomum os locais serem priorizados nas redes de ensaios, em detrimento dos anos. Com isso, dificulta-se a avaliação da estabilidade dos genótipos na dimensão temporal. E, segundo esse autor, a resposta às variações de ano para ano é a que mais interessa ao agricultor.

Há estudos a respeito da interação genótipos x anos, porém, pouco se sabe sobre o número de anos na rede de ensaio de cultivares necessário para representar os anos futuros nos quais o potencial cultivar será usado pelos produtores. Ferreira et al. (2015) verificaram em estudos com a cultura do feijão, cultivada em três safras por ano, que o uso de dois anos é

viável para a recomendação de novos cultivares. Contudo, em culturas como soja, que não há possibilidade de realizar cultivos e experimentos em várias safras por ano, o uso de mais anos seria uma boa estratégia.

Figura 6 – Proporções da variação fenotípica atribuídas aos efeitos de ano, genótipo, local dentro de mesorregião e mesorregião, e as respectivas interações nas macrorregiões.



Fonte: Do autor (2018).

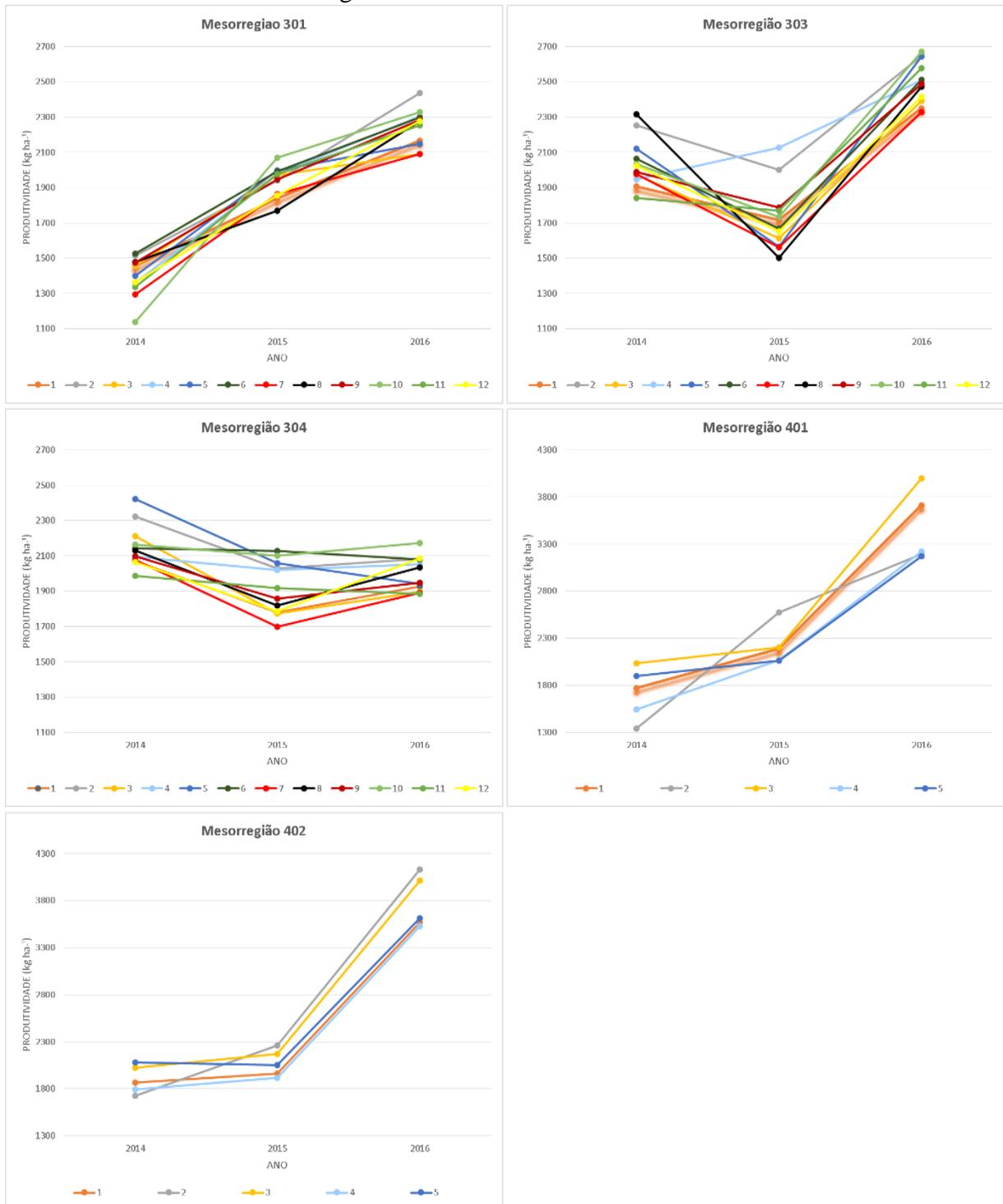
Uma preocupação primária dos melhoristas se concentra no ranqueamento mais acurado das cultivares, de acordo com seu valor de cultivo e uso, pois isso tem impacto direto na recomendação. Em todas as mesorregiões foram verificadas mudanças no ranqueamento das cultivares ao longo dos anos, o que indica existência de interação cultivares x anos do tipo complexa (FIGURAS 8 e 9). Além disso, esse comportamento foi diferenciado entre as mesorregiões. Houve mesorregiões com acentuadas mudanças no ranqueamento, como a Mesorregião 103 (FIGURA 7), e outras mesorregiões com menos mudanças no ranqueamento, como a Mesorregião 402 (FIGURA 8). Esses resultados corroboram a hipótese de que as mesorregiões influenciam a magnitude da interação G x A, conforme discutido anteriormente.

Figura 7 – Ranqueamento de cultivares de soja nas Mesorregiões Sojícolas 102, 103, 201 e 204 em três anos agrícolas.



Fonte: Do autor (2018).

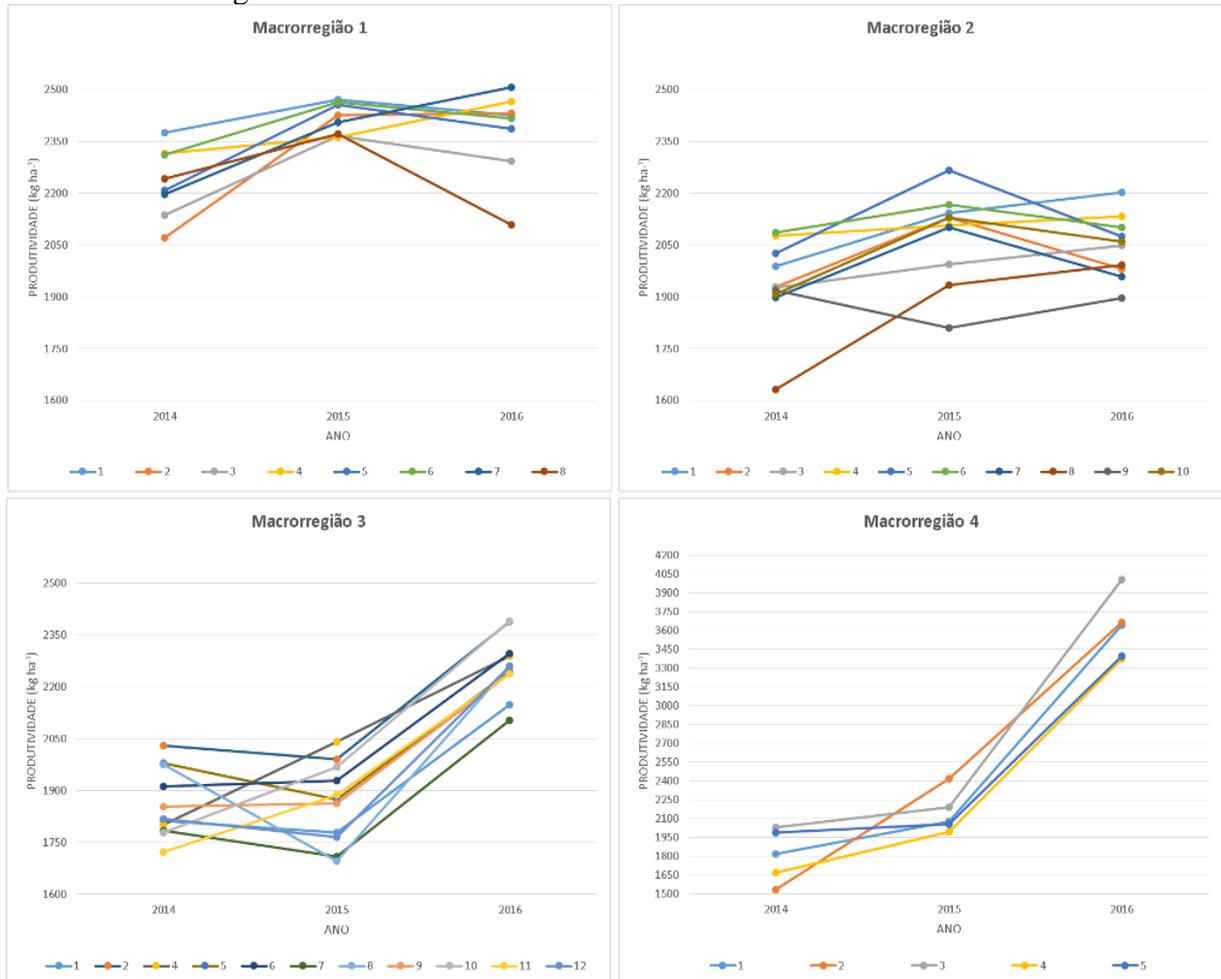
Figura 8 – Ranqueamento de cultivares de soja nas Mesorregiões Sojícola 301, 303, 304, 401 e 402 em três anos agrícolas.



Fonte: Do autor (2018).

Analogamente ao observado no contexto das mesorregiões, nos estudos considerando macrorregiões também houve mudança no ranqueamento das cultivares, caracterizando interação do tipo complexa (FIGURA 9). A magnitude da interação G x A também foi influenciada pelas macrorregiões, assim como observado no estudo com mesorregiões.

Figura 9 – Ranqueamento de cultivares de soja nas Macrorregião Sojícolas 1, 2, 3 e 4 em três anos agrícolas.



Fonte: Do autor (2018).

5 CONCLUSÕES

Constata-se que a maior parte da variação fenotípica foi atribuída aos fatores macroambientais associados aos locais e anos. A interação GxA se mostra presente dentro das mesorregiões e das macrorregiões, com destaque para a interação, envolvendo os anos agrícolas, o que resulta em mudança de ordenamento das cultivares, afetando a recomendação.

REFERÊNCIAS

- ALLIPRANDINI, L. F.; ABATTI, C.; BERTAGNOLLI, P. F.; CAVASSIM, J. E.; GABE, H. L.; KUREK, A.; MATSUMOTO, M. N.; OLIVEIRA, M. A. R.; PITOL, C.; PRADO, L. C.; STECKLING, C. Understanding soybean maturity groups in Brazil: environment, cultivar classification and stability. **Crop Science**, Madison, v. 49, n. 1, p. 801-808, 2009.
- ANNICCHIARICO, P. Cultivar adaptation and recommendation from alfalfa trials in Northern Italy. **Journal of Genetics and Breeding**, Roma, v. 46, n. 1, p. 269-278, 1992.
- ANNICCHIARICO, P. **Genotype x environment interactions: challenges and opportunities for plant breeding and cultivar recommendations**. Roma: FAO, 2002. 115 p. (FAO Plant Production and Protection Paper, 174).
- ANNICCHIARICO, P. Coping with and exploiting genotype-by-environment interactions. In: CECCARELLI, S.; GUIMARÃES, E. P.; WELTZIEN, E. (Org.). **Plant breeding and farmer participation**. Roma: FAO, 2009. p. 519-564.
- BARROS, H. B.; SEDIYAMA, T.; TEIXEIRA, R. C.; CRUZ, C. D. Análises paramétricas e não-paramétricas para determinação da adaptabilidade e estabilidade de genótipos de soja. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 9, n. 3, p. 299-309, 2008.
- BERNARDO, R. **Breeding for quantitative traits in Plants**. 2. ed. Woodbury: Stemma Press, 2010. 400 p.
- BEZERRA, A. R. G.; SEDIYAMA, T.; BORÉM, A.; SOARES, M. M. Importância Econômica. In: SEDIYAMA, T.; SILVA, F.; BORÉM, A. (Org.). **Soja – do plantio à colheita**. 1. ed. Viçosa: Ed. UFV, 2015. p. 9-26.
- BORÉM, A.; MIRANDA, G. V. **Melhoramento de plantas**. 6. ed. Viçosa: Ed. UFV, 2013. 523 p.
- BRANQUINHO, R. G.; DUARTE, J. B.; SOUZA, P. I. M.; SILVA NETO, S. P.; PACHECO, R. M. Estratificação ambiental e otimização de rede de ensaios de genótipos de soja no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 49, n. 10, p. 783-795, 2014.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Requisitos mínimos para determinação do valor de cultivo e uso de soja (*Glycine max*), para a inscrição no registro nacional de cultivares – RNC**. Brasília: MAPA, 2004. Anexo VI.
- CALVO, E. S.; KIIHL, R. A. S. Melhoramento genético: de onde partimos e para onde vamos. **Visão Agrícola**, Piracicaba, v. 3, n. 5, p. 136-139, 2006.
- CARGNELUTTI FILHO, A.; PERECIN, D.; MALHEIROS, E. B.; GUADAGNIN, J. P. Comparação de métodos de adaptabilidade e estabilidade relacionados à produtividade de grãos de cultivares de milho. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 4, p. 571-578, 2007.
- CHAVES, L. J. Interação de genótipos com ambientes. In: NASS, L. L.; VALOIS, A. C. C.; MELO, I. S.; VALADARES-INGLIS, M. C. (Org.). **Recursos Genéticos & Melhoramento de Plantas**. Rondonópolis: Fundação MT, 2001. p. 673-713.

CHUNG, G.; SINGH, R. J. Broadening the genetic base of soybean: a multidisciplinary approach. **Critical Reviews in Plant Sciences**, Filadélfia, v. 27, n. 5, p. 295-341, 2008.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Série histórica de produção de soja – Brasil. 2018**. Disponível em: <www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/18_01_11_17_28_45_sojaseriehist.xls>. Acesso em: 23 jan. 2018.

CRUZ, C. D.; TORRES, R. A.; VENCOVSKY, R. An alternative approach to the stability analysis proposed by Silva e Barreto. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v. 12, n. 3, p. 567-580, 1989.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 4. ed. Viçosa: Ed. UFV, 2012. 514 p.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. v. 2. 3. ed. Viçosa: Ed. UFV, 2014. 668 p.

EBERHART, S. A.; RUSSELL, W. A. Stability parameters for comparing varieties. **Crop Science**, Madison, v. 6, n. 1, p. 36-40, 1966.

FERREIRA, R. A. D. C.; RAMALHO, M. A. P.; TOLEDO, F. H. R. B.; ABREU, A. F. B. Implications of the number of years assessment on recommendation of common bean cultivars. **Plant Breeding**, Westport, v. 134, n. 1, p. 599-604, 2015.

FINLAY, K. W.; WILKINSON, G. N. The analysis of adaptation in a plant breeding programme. **Australian Journal of Agricultural Research**, Melbourne, v. 14, n. 3, p. 742-754, 1963.

GAUCH, H. G.; ZOBEL, W. AMMI analysis of yield trials. In: KANG, M. S.; GAUCH, H. G. (Org.). **Genotype by environment interaction**. Boca Raton: CRC Press, 1996. p. 85-122.

HYMOWITZ, T. Speciation and cytogenetics. In: BOERMA, H. R.; SPECHT, J. E. (Org.). **Soybeans: improvement, production and uses**. 4. ed. Madison: ASA, CSSA & SSSA, 2004. p. 97-136.

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).

LAVORANTI, O. J.; LINS, A. C.; SILVA, H. D.; FERREIRA, C. A. **Modelagem AMMI para estudos de interação em modelos estatísticos de efeitos fixos**. Colombo: Embrapa Floresta, 2004. 7 p. (Comunicado Técnico, 124)

LIN, C. S.; BINNS, M. R. A superiority measure of cultivar performance for cultivar x location data. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 68, n. 3, p. 193-198, 1988.

MAIA, M. C. C.; VELLO, N. A.; ARAÚJO, L. B.; DIAS, C. T. S.; OLIVEIRA, L. C.; ROCHA, M. M. Interação genótipo x ambiente com uso da análise de componentes principais para populações de soja selecionadas para resistência a insetos. **Revista Brasileira de Biometria**, São Paulo, v. 31, n. 1, p. 13-27, 2013.

- MALOSETTI, M.; RIBAUT, J. M.; EEUWIJK, F. A. V. The statistic analysis of multienvironment data: modeling genotype-by-environment interaction and its genetic basis. **Frontiers in Physiology**, Lausanne, v. 4, n. 1, p. 1-17, 2013.
- MENDONÇA, O.; CARPENTIERI-PÍPOLO, V.; GARBUGLIO, D. D.; FONSECA JUNIOR, N. S. Análise de fatores e estratificação ambiental na avaliação da adaptabilidade e estabilidade em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 11, p. 1567-1575, 2007.
- OLIVEIRA, L. G.; HAMAWAKI, O. T.; SIMON, G. A.; SOUSA, L. B.; NOGUEIRA, A. P. O.; REZENDE, D. F.; HAMAWAKI, C. D. L. Adaptabilidade e estabilidade da produtividade de soja em duas regiões sojícolas. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 6, p. 852-861, 2012.
- PELÚZIO, J. M.; FIDELIS, R. R.; GIONGO, P.; SILVA, J. C.; CAPPELLARI, D.; BARROS, H. B. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de soja em quatro épocas de semeadura no sul do Estado do Tocantins. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 55, n. 1, p. 34-40, 2008.
- PEREIRA, F. C. **Estratégias para seleção de progênies em soja**. 2016. 111 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.
- PLAISTED, R. L.; PETERSON, L. C. A technique for evaluating the ability of selections to yield consistently in different locations and seasons. **American Potato Journal**, Orono, v. 36, n. 2, p. 381-385, 1959.
- PRADO, E. E.; HIROMOTO, D. M.; GODINHO, V. P. C.; UTUMI, M. M.; RAMALHO, A. R. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de soja em cinco épocas de plantio no cerrado de Rondônia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 4, p. 625-635, 2001.
- RAMALHO, M. A. P.; ABREU, Â. F. B.; SANTOS, J. B.; NUNES, J. A. R. **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas**. Lavras: Ed. UFLA, 2012. 522 p.
- RESENDE, M. D. V. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2002. 975 p.
- RESENDE, M. D. V.; DUARTE, J.B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 37, n. 3, p. 182-194, 2007.
- SEDIYAMA, T. **Tecnologia de produção de sementes de soja**. Londrina: Mecenias, 2013. 352 p.
- SILVA, W. C. J.; DUARTE, J. B. Métodos estatísticos para estudo de adaptabilidade e estabilidade fenotípica em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 1, p. 23-30, 2006.
- STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE. **SAS/STAT**, versão 9.4: User's guide. Cary: SAS Institute, 2015.

STORCK, L.; CARGNELUTTI FILHO, A.; LÚCIO, A. D.; MISSIO, E. L.; RUBIN, S. A. L. Avaliação da precisão experimental em ensaios de competição de cultivares de soja. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 3, p. 572-578, 2010.

TAI, G. C. C. Genotype stability analysis and its application to potato regional trials. **Crop Science**, Madison, v. 11, n. 1, p. 184-190, 1971.

TOLEDO, J. F. F.; CARVALHO, C. G. P.; ARIAS, C. A. A.; ALMEIDA, L. A.; BROGIN, R. L.; OLIVEIRA, M. F.; MOREIRA, J. U. V.; RIBEIRO, A. S.; HIROMOTO, D. M. Genotype and environment interaction on soybean yield in Mato Grosso State, Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 5, p. 785-791, 2006.

VASCONCELOS, E. S.; REIS, M. S.; CRUZ, C. D.; SEDIYAMA, T.; SCAPIM, C. A. Adaptability and stability of semilate and late maturing soybean genotypes in Minas Gerais state. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 32, n. 3, p. 411-415, 2010.

VERMA, M. M.; CHAHAL, G. S.; MURTY, B. R. Limitations of conventional regression analysis: a proposed modification. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlim, v. 53, n. 3, p. 89-91, 1978.

WANG, K.; LI, X. Genetic differentiation and diversity of phenotypic characters in Chinese wild soybean (*Glycine soja* Sieb. et Zucc.) revealed by nuclear SSR markers and the implication for intraspecies phylogenetic relationship of characters. **Genetic Resources and Crop Evolution**, Dordrecht, v. 58, n. 2, p. 209-223, 2011.

WRICKE, G. Zur Berechnung der Ökovalenz bei Sommerweizen und Hafer. **Pflanzenzuchtung**, Berlim, v. 52, n. 1, p. 127-138, 1965.

YANO, S. A. C.; SPECHT, A.; MOSCARDI, F.; CARVALHO, R. A.; DOURADO, P. M.; MARTINELLI, S.; HEAD, G. P.; SOSA-GÓMEZ, D. R. High susceptibility and low resistance allele frequency of *Chrysodeixis includens* (Lepidoptera: Noctuidae) field populations to Cry1Ac in Brazil. **Pest Management Science**, Londres, v. 72, n. 8, p. 1578-1584, 2015.

YATES, F.; COCHRAN, W. G. The analysis of group of experiments. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 28, n. 1, p. 556-580, 1938.

YOKOMIZO, G. K.; DUARTE, J. B.; VELLO, N. A.; UNFRIED, J. R. Análise AMMI da produtividade de grãos em linhagens de soja selecionadas para resistência à ferrugem asiática. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 48, n. 10, p. 1376-1384, 2013.