

VALÉCIA MARTINS DE OLIVEIRA

**SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE SOJA PARA AMPLA
ADAPTABILIDADE E ALTA ESTABILIDADE FENOTÍPICA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia – Mestrado, área de concentração em Fitotecnia, para obtenção do título de “Mestre”.

Orientador

Prof. Dr. Osvaldo Toshiyuki Hamawaki

Coorientadora

Prof.^a Dr.^a Ana Paula Oliveira Nogueira

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS – BRASIL
2014

VALÉCIA MARTINS DE OLIVEIRA

**SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE SOJA PARA AMPLA
ADAPTABILIDADE E ALTA ESTABILIDADE FENOTÍPICA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de
Uberlândia, como parte das exigências do Programa de
Pós-graduação em Agronomia – Mestrado, área de
concentração em Fitotecnia, para obtenção do título de
“Mestre”.

APROVADA em 7 de março de 2014.

Prof.^a Dr.^a Ana Paula Oliveira Nogueira
(Coorientadora)

UFU/INGEB

Prof.^a Dr.^a Larissa Barbosa de Sousa

UFU/ICIAG

Dr.^a Flávia Aparecida Amorim

NATURALLE

Prof. Dr. Osvaldo Toshiyuki Hamawaki
ICIAG–UFU
(Orientador)

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS – BRASIL
2014

*À memória de Laurinda Benta da Silva,
mulher guerreira e minha avó.
Aos meus pais, Lorezino Martins Ferreira e
Maria do Carmo de Oliveira,
Ao meu esposo, Flávio Marçal dos Santos.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, por estar sempre comigo, me guiando, iluminando meus passos e me carregando nos caminhos pedregosos. Obrigada, Senhor, por todos esses dias vividos e pelos que virão.

Um agradecimento especial a nossa senhora Aparecida, que com seu abençoado manto sempre me cobriu, me protegendo e acalmando meu coração.

Aos meus pais, Lorezino Martins Ferreira e Maria do Carmo de Oliveira, “razão da minha vida, minha força e dedicação”. Pelos seus longos anos de experiência, dedicação, humildade e sabedoria, que me tornaram o que sou hoje. Os ensinamentos são a maior riqueza que alguém pode ganhar; e levarei esses ensinamentos para toda a minha vida e nunca ninguém vai tirá-los de mim.

Ao meu esposo, Flávio Marçal dos Santos, por ter me escolhido para participar de sua vida, pelo incentivo de iniciar e concretizar esta etapa em minha vida, pela sua paciência, companheirismo, amor e pela compreensão de entender minha ausência em muitos momentos do nosso namoro e casamento. É claro, pela disponibilidade em me ajudar sempre que precisei em todas as etapas do meu mestrado.

Ao meu irmão Laudinely Martins de Oliveira e à minha cunhada Heloisa Cunali, pelo incentivo constante, por acreditar que eu seria capaz e por todas as palavras de conforto.

À minha irmã, Laudirene Martins de Oliveira, e ao meu cunhado, Cid Marcos, pelo incentivo e por me acolherem em sua casa quando iniciei meu estudo.

Ao meu irmão Waldemar Martins de Oliveira Neto e à minha cunhada Alda Palestina, por sempre me ajudarem quando precisei. E aos meus sobrinhos, Henrique e Bianca, por proporcionarem muitos momentos alegres.

Não poderei deixar de agradecer ao professor doutor Osvaldo Toshiyuki Hamawaki, meu orientador, pela confiança no meu trabalho e pela oportunidade de crescimento profissional e pessoal. E ainda pela grande oportunidade que me proporcionou: conhecer, e me apaixonar, pelo melhoramento genético de plantas. Obrigada, professor Osvaldo! Por me proporcionar adquirir conhecimento nesta maravilhosa área: essencial ao nosso agronegócio.

Ao meu sogro, Carlito Marçal, à minha sogra, Marina, e ao meu cunhado Carlito Júnior, pelo carinho e pela torcida.

A todos os meus familiares (tios, tias e primos) e amigos, pela atenção, pelos conselhos e pela torcida. Em especial, à minha amiga Larissa Barbosa de Sousa, por sua incansável paciência e experiência; muitas vezes, me aconselhando, dividindo comigo seus conhecimentos. Agradeço a possibilidade de trabalharmos juntas, pelo aprendizado adquirido. Obrigada, Larissa — ou melhor, professora Larissa —, por contribuir muito com este trabalho, por me escutar sempre que precisei desabafar. Continue sempre assim!

À professora Ana Paula Oliveira Nogueira, pelo conhecimento transmitido e pela orientação deste trabalho, disponibilizando sua poucas horas para me ajudar. Obrigada, Ana Paula, pela amizade que construímos e por compor a banca de defesa da dissertação.

À doutora Flávia Aparecida Amorim, por ter aceitado o convite para participar da banca de defesa e contribuir para melhoria deste trabalho.

A Fernanda Neves Romanato, minha antecessora no programa de melhoramento de soja da Universidade Federal de Uberlândia, que provocou em mim várias emoções profissionais as quais, sem ela, eu nunca teria aprendido a controlá-las e que me fizeram crescer profissionalmente. Por isso, Fernanda, obrigada por ter existido, por ter confiado em mim e hoje por saber que somos amigas.

A professora Denise Garcia, por ter me dado à honra de conhecê-la e ter tido o prazer em ser sua aluna na disciplina Seminários.

Ao professor Cláudio Ricardo da Silva, pela ajuda com a análise AMMI, pelo apoio, pela torcida e pela amizade.

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Agronomia, pelos ensinamentos.

Aos colegas do curso de Pós-graduação em Agronomia. E aos estagiários do programa de melhoramento genético de soja da Universidade Federal de Uberlândia, pelos momentos vividos durante esses três anos como colaboradora no programa.

Aos funcionários do programa de melhoramento, Francisco (Luquinha), Eurípedes Borges e Katia, pelos ensinamentos e companheirismo no dia a dia. Agradeço também a todos os funcionários da fazenda Capim Branco, os quais sempre me trataram bem e me ajudaram quando precisei.

Ao José Humberto (Bil), por ter me proporcionado a honra de conhecê-lo, por dividir comigo seu conhecimento sobre melhoramento genético de soja.

Ao programa de melhoramento genético de soja da Universidade Federal de Uberlândia, que possibilitou todo este trabalho.

À Daniela Freitas e Anaisa Kato, que me ajudaram no início desta jornada.

Ao Programa de Pós-graduação em Agronomia, pela oportunidade de realização do mestrado, e à coordenação do Instituto de Ciências Agrárias, em especial aos funcionários Eduardo Isaac Rodrigues, Maria Aparecida Fontoura (Cida), Maria Auxiliadora e Júlio, pela amizade, pelo carinho e pela atenção em nossa convivência.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

Aos colegas de faculdade: Dione Rodovalho, Guilherme Zure, Tiago Henrique e Vinicius Naves, pela amizade e pelo apoio.

Às empresas: Caramuru, Sementes Ipirangua, Syngenta, Sementes Magnolia e Goemil, em especial aos profissionais Ozires Nogueira, João Rodrigues, Marcos Melo, Volmir Cella, Rudson Martins, Waldir Martins e Flávio Marçal. E a todos os produtores rurais que contribuíram com os ensaios conduzidos durante minha participação no programa.

Ao Instituto Federal Goiano, campus Urutaí, em especial à professora Janine Mesquita e ao professor Milton Lima. À Faculdade Arnaldo Horácio Ferreira, em Luis Eduardo Magalhães, BA; em especial, à professora Daniella Aparecida Cantelli, pela condução dos ensaios de valor de cultivo.

Enfim, a todos que contribuíram direta e indiretamente para a realização deste sonho que aqui não foram citados.

Muito obrigada!

BIOGRAFIA

Valécia Martins de Oliveira, filha de Lorezino Martins Ferreira e Maria do Carmo de Oliveira, nasceu em 29 de setembro de 1984, em Goiatuba, GO. Em fevereiro de 2006, ingressou no curso de Agronomia na Universidade Luterana do Brasil/ULBRA, em Itumbiara, GO, e o concluiu em fevereiro de 2010. Em fevereiro de 2011, iniciou o curso de Especialização em Proteção de Plantas da Universidade Federal de Viçosa, MG, concluído em fevereiro de 2012. Em março de 2012, iniciou o curso de Mestrado em Agronomia (linha de pesquisa: Melhoramento Genético de Plantas) da Universidade Federal de Uberlândia, em Uberlândia, MG, cuja dissertação foi submetida à defesa em março de 2014.

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| RESUMO..... | ix |
| ABSTRACT..... | x |
| INTRODUÇÃO..... | 1 |
| REVISÃO DE LITERATURA..... | 3 |
| 2.1 Evidências históricas da soja..... | 3 |
| 2.2 Importância econômica da soja..... | 3 |
| 2.3 Morfologia e desenvolvimento da soja..... | 4 |
| 2.4 Melhoramento genético da soja..... | 7 |
| 2.5 Interação genótipos x ambientes..... | 10 |
| 2.6 Adaptabilidade e estabilidade..... | 13 |
| 2.6.1 Método de Eberhart e Russel (1966)..... | 14 |
| 2.6.2 Método Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998)..... | 15 |
| 2.6.3 Análise AMMI..... | 17 |
| MATERIAL E MÉTODOS..... | 20 |
| 3.1 Material genético..... | 20 |
| 3.2 Locais de cultivo..... | 20 |
| 3.3 Implantação e condução dos ensaios..... | 21 |
| 3.4 Delineamento experimental..... | 21 |
| 3.5 Caráter estudado..... | 22 |
| 3.6 Análise estatística..... | 22 |
| RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 25 |
| CONCLUSÕES..... | 34 |
| REFERÊNCIAS..... | 35 |

RESUMO

OLIVEIRA, VALÉCIA MARTINS. **Seleção de genótipos de soja para adaptabilidade e estabilidade fenotípica.** 2014. 51 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) — Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.¹

A soja é uma cultura agrícola importante que se destaca na produtividade de grãos devido ao avanço do melhoramento genético. Dentre os objetivos preconizados para o melhoramento da soja, está a obtenção de alta produtividade de grãos, estabilidade e adaptabilidade a ambientes distintos. A pesquisa descrita nesta dissertação objetivou estudar a interação genótipos por ambientes para o caráter produtividade de grãos, avaliar a adaptabilidade e estabilidade fenotípica de sete genótipos de soja e selecionar linhagens com alta produtividade, ampla adaptabilidade e alta estabilidade. A avaliação abrangeu cinco linhagens de soja de ciclo precoce desenvolvidas pelo programa de melhoramento genético de soja da Universidade Federal de Uberlândia, além de duas testemunhas (UFUS Guarani e M-SOY6101), em sete ambientes localizados em Goiás (em Palmeiras de Goiás safra 2011/12 e safra 2012/13; em Urutaí safra 2010/11 e safra 2011/12; em Goiatuba safra 2011/12) e na Bahia (em Luís Eduardo Magalhães safra 2011/12 e safra 2012/13). Os ensaios foram instalados em delineamento de blocos completos casualizados com três repetições. Cada unidade experimental foi constituída por quatro linhas de plantas de soja, com cinco metros de comprimento cada uma, espaçadas em 0,5 m. Consideraram-se como parcela útil as duas fileiras centrais, com eliminação de 0,5 m de cada extremidade. O caráter estudado foi a produtividade de grãos (kg ha^{-1}). Foram utilizadas as metodologias de análise de adaptabilidade e estabilidade Eberhart e Russel (1966) e Lin e Binns (1988) modificada por Carneiro (1998) e a análise AMMI (Additive main Effects and Multiplicative Interaction Model). A produtividade média das cultivares nos ensaios foi de $2.739,26 \text{ kg ha}^{-1}$ de grãos. O resultado da análise de variância conjunta mostrou efeitos significativos ao se estudar a interação genótipos por ambientes através do caráter produtividade de grãos, que foi predominantemente classificada em tipo complexa. O genótipo L01V13 e a cultivar UFUS Guarani apresentaram adaptação ampla pela metodologia de Eberhart e Russel (1966) e Lin e Binns (1988) modificada por Carneiro (1998). A cultivar UFUS Guarani apresentou alta estabilidade pela análise AMMI. As metodologias em geral se completam e, quando usadas conjuntamente, podem aumentar a confiança na classificação e indicação de cultivares de soja para ambientes determinados.

Palavras-chave: *Glycine max.*, produtividade de grãos, interação genótipos por ambientes.

¹ Comitê Orientador: Osvaldo Toshiyuki Hamawaki — UFU (Orientador) e Ana Paula Oliveira Nogueira — UFU/INGEB.

ABSTRACT

OLIVEIRA, VALÉCIA MARTINS. **Selection of soybean genotypes for adaptability and phenotypic stability**. 2014. 51 pp. Dissertation (MSc in Agronomy/Crop Science) — Institute of Agronomic Sciences, Federal University of Uberlândia.²

Soybean is a central culture whose grain productivity stands out thanks to advances in genetic improvement. The aims recommended to soybean improvement include reaching high grain productivity, stability and adaptability to diverse environments. The research this study presents aimed at studying genotype–environment interaction in regard to grain productivity feature, assessing seven soybean genotypes' adaptability and phenotypic stability, and selecting lineages of high productivity, adaptability and stability. Five early-cycle soybean lineages developed by Universidade Federal de Uberlândia's genetic improvement program and two testimonies (UFUS Guarani and M-SOY6101) were evaluated. The evaluation took place in seven environments located in the states of Goiás (Palmeiras de Goiás during 2011/12 and 2012/13 harvests; in Urutaí during 2010/11 and 2011/12 harvests; and in Goiatuba during 2011/12 harvests) and Bahia (in Luís Eduardo Magalhães during 2011/12 and 2012/13 harvests). Experiments were designed as random full blocks with three replications. Each unity was made of five rows of soy plant; and each row was five-meter long with a half-meter long space between them. It was taken as useful parcel two central rows minus a half-meter long cut at their extremities. The character studied was grain productivity, which was measured in kilos per hectare. Methodologies for the analysis of adaptability and stability included both Eberhart and Russel (1966) and Lin and Binns (1988), as modified by Carneiro (1998), besides AMMI analysis. During the experiments the average grain productivity reached 2,739.26 kilos per hectare. Conjoint variance analysis results reveal relevant effects as to genotype–environment interaction in connection with grain productivity feature. This result justifies the study of such interaction and grain productivity, which was considered mostly as being of the complex type. L01V13 genotype and UFUS Guarani cultivar showed great adaptation when considered in the light of the methodology of Eberhart and Russel (1966) and the methodology of Lin and Binns (1988) as modified by Carneiro (1998). UFUS cultivar presented high stability in the AMMI analysis. For the most part these methodologies are complementary. When applied as a set, they may increase reliability in the classification and indication of soybean cultivars for certain environments.

Keywords: *Glycine max.*; Grain yield; genotype–environment interaction.

² Advising committee: Osvaldo Toshiyuki Hamawaki — UFU (advisor); Ana Paula Oliveira Nogueira — UFU/INGEB.

INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* [L.] Merrill) é um das culturas agrícolas centrais da economia brasileira. Ocupa posição de destaque nas exportações. O Brasil se projeta como segundo maior produtor, exportador e processador mundial do grão. A área plantada na safra 2012/13 somou 27,72 milhões de hectares, com produtividade média de 2.933 kg ha⁻¹. A produção nacional chegou a 81.456 milhões de toneladas (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO/CONAB, 2013a). Observado a partir da década de 70, o aumento da produção ocorreu, em grande parte, graças à expansão das fronteiras agrícolas pela cultura, aliada à ação conjunta do melhoramento ambiental e melhoramento genético (OLIVEIRA et al., 2012).

A soja é cultivada em ambientes bastante diversos, que englobam latitudes altas e baixas (OLIVEIRA et al., 2012). Nesse sentido, o desenvolvimento de material genético apropriado às áreas produtoras no país todo tem sido um fator responsável pelo progresso da soja, pois permite expressar as potencialidades de cada região em níveis de produção econômica do grão.

Um programa de melhoramento genético trabalha em um processo contínuo de desenvolvimento de cultivares. Começa no planejamento, que estabelece metas a ser alcançadas em dado período visando à solução de limitações reais ou potenciais das cultivares na produção da soja. Realizam hibridações artificiais com genitores escolhidos conforme os objetivos do programa de melhoramento para obter uma população segregante com variabilidade genética. Tais populações são conduzidas por várias gerações, em que se adotam métodos tradicionais de melhoramento para permitir a seleção e avaliação de genótipos com as características desejáveis (LAVORANTI et al., 2004). Na etapa final do programa de melhoramento de soja, durante o desenvolvimento de genótipos superiores, é preciso comprovar a superioridade das melhores linhagens obtidas em condições ambientais diferentes e que estas superam as cultivares disponíveis no mercado.

Nesse contexto, as linhagens desenvolvidas são cultivadas em vários locais e durante safras distintas, nos ensaios de valor de cultivo e uso (VCU), para que se possa aumentar a possibilidade de selecionar genótipos superiores e estudar a interação genótipos por ambientes (G x A) (BORÉM; MIRANDA, 2013; MALOSETTI; RIBAUT; EEUWIJK, 2013).

A interação G x A, que ocorre quando há respostas diferenciadas dos genótipos avaliados em diferentes ambientes, pode ser do tipo simples — quando é proporcionada pela diferença de variabilidade entre genótipos nos ambientes — e do tipo complexa — quando denota a falta de correlação entre medidas de um mesmo genótipo em ambientes distintos e indica inconsistência na superioridade de genótipos quando cultivados em diferentes ambientes (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012).

Um dos objetivos centrais a ser considerados em um programa de melhoramento genético de soja é o desenvolvimento de genótipos com alta produtividade de grãos, aliada à ampla adaptabilidade e estabilidade de produção. Após identificar genótipos superiores com características desejáveis que sejam adaptáveis a determinado ambiente, a recomendação de cultivo se torna específica, para reduzir a interação dos genótipos com os ambientes e, logo, possibilitar que dada cultivar expresse seu potencial produtivo (SEDIYAMA; TEIXEIRA; REIS, 2005).

Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivos estudar a interação genótipos por ambientes para o caráter produtividade de grãos em soja e avaliar a adaptabilidade e estabilidade fenotípica de linhagens de soja desenvolvidas pelo programa de melhoramento genético de soja da UFU por meio dos métodos de Eberhart e Russel (1966), além de Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998) e da análise AMMI — Additive Main Effects and Multiplicative Interaction model (AMMI) (ZOBEL et al., 1988).

REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Origem e expansão da soja

Na civilização chinesa, a soja era considerada um grão sagrado, por isso era cultivado com cerimônia pelo imperador e pelos poetas. Estudos indicam que sua domesticação se deu no século XI a. C., conforme evidências históricas no Nordeste da China, região da Manchúria, em latitudes compreendidas entre 30° e 45° N. No Centro-Sul desse país está o provável centro primário de origem da espécie localizado no Vale do Rio Amarelo (XU et al., 1989). A soja foi levada da China para Europa em 1740; em 1804, foi introduzida nos Estados Unidos da América. No Brasil, a primeira referência data de 1882; e é sobre os genótipos levados por Gustavo Dutra para a Bahia (VERNETTI, 1983, SEDIYAMA; PEREIRA; SEDIYAMA, 1985). Como a soja não se adaptou bem em razão das latitudes inferiores à de sua origem, novas cultivares foram levadas para Campinas e São Paulo para, depois, chegar ao Rio Grande do Sul, onde se adaptaram mais às condições climáticas, mais semelhantes àsquelas das regiões tradicionais de cultivo (VERNETTI, 1983).

O cultivo da soja em regiões de baixa latitude se tornou possível graças a vários fatores. Aí se incluem a expansão das fronteiras agrícolas, as melhorias na fertilidade do solo, os incentivos fiscais, a substituição de gordura animal pelo óleo vegetal na alimentação humana, o desenvolvimento de máquinas agrícolas e o melhoramento genético, que desenvolveu cultivares com o gene que condiciona o período juvenil longo (SEDIYAMA, 2013; CONAB, 2013a). As primeiras cultivares desenvolvidas para a região Norte e Nordeste (Tropical e Timbira) apresentaram, como fonte de período juvenil longo, o genótipo PI 240664, um dos genótipos usados para iniciar a base genética nos cruzamentos (PALUDZYSZYN FILHO et al., 1993). Com isso, foi possível explorar economicamente a cultura.

2.2 Importância econômica da soja

A soja está entre as culturas agrícolas principais no Brasil, a ponto de o país ser o segundo maior produtor mundial — fica atrás dos Estados Unidos. Argentina e China ocupam terceira e quarta posição, respectivamente, na produção mundial. Contudo, a sojicultura brasileira apresenta a maior produtividade mundial de grãos. Os produtores principais são Mato Grosso, Paraná, Rio Grande do Sul e Goiás (CONAB, 2013a). A cultura apresenta grande importância econômica porque seu grão tem teor elevado de

proteína e de óleo: de 30% a 52% e de 10% a 27%, respectivamente. O consumo do óleo ocorre na alimentação humana e na produção de biodiesel, desinfetantes, lubrificantes, sabões etc. O farelo de soja é utilizado na alimentação humana e animal, além de ser base para produção de produtos processados ou semiprocessados. A planta pode ser usada como adubo verde, forragem, silagem, feno e pastagem (SEDIYAMA, 2013).

Mesmo com os estresses ambientais na safra 2012/2013 (déficit hídrico no início do desenvolvimento vegetativo e índices pluviométricos elevados no fim do estágio reprodutivo), a produção nacional apresentou crescimento de 22,7%; ou seja, passou de 66.383 milhões de toneladas, na safra 2011/12, para 81.456 milhões, na safra 2012/13. Em uma área plantada de 27,72 milhões de hectares, houve incremento de 10,7% ante o verificado na safra 2011/12 (CONAB, 2013a).

A produção mundial de soja divulgado pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) em 2012/13 foi de 260,46 milhões de toneladas; isso significa que houve aumento aproximado de 10,34% ante a safra 2011/12. As exportações na safra 2012/13 ficaram próximas de 97,3 milhões de toneladas; a China foi o maior importador, responsável por 64% da demanda mundial; e nos últimos cinco anos aumentou exponencialmente suas importações (CONAB, 2013b).

O consumo mundial de soja aumentou gradativamente nos últimos anos. Segundo o USDA, em 2011/12 chegou a 253,83 milhões de toneladas (CONAB, 2013b). Tal consumo está associado ao crescimento da população mundial, ao aumento do poder aquisitivo das pessoas e à preocupação com qualidade da alimentação, sobretudo em países como China, Índia e Brasil (CONAB, 2013b).

2.3 Morfologia e desenvolvimento da soja

A soja pertencente à família *Fabaceae* (*Leguminosae*), subfamília *Faboideae*, gênero *Glicine*, espécie *Glycine Max*. A forma cultivada é a *Glycine max* (L.) Merrill.³ É uma planta anual, herbácea e autógama; porém, insetos como abelhas e tripses podem transportar o pólen das flores e levá-los para flores de outras plantas, realizando a fecundação cruzada. Em geral, essa fecundação é menor que 1%. Em trabalho realizado em Campinas, SP, Miyasaka (1958) identificou 1% de fecundação cruzada na cultura. Em Viçosa, MG, em condições de estudos com plantas em contato direto entre si, Sedyama et al. (1970) observaram taxa de cruzamento natural de 1,3%.

³ A palavra soja se associa com o termo japonês *shoyu*, quando o imperador Sheng-Nung descreveu sua origem no livro *Pen Ts' ao Kong Um*, por volta de 2.838 a. C. (SEDIYAMA, 2013).

A altura da planta de soja varia de 30 cm a 200 cm, oscilando em função do local e da época de cultivo. Pode ser muito ramificada ou pouco ramificada. A altura mínima desejável para colheita mecanizada é em torno de 50 a 60 cm em solos de topografia plana. Uma boa colheita, geralmente, é eficiente quando as plantas apresentam altura de 70 a 80 cm; plantas acima de 100 cm tendem ao acamamento. A altura de inserção da primeira vagem ideal está na faixa de 10 a 12 cm acima da superfície de solo, para que não ocorram perdas na colheita pela barra de corte (SEDIYAMA; TEIXEIRA; REIS, 2005).

O ciclo de desenvolvimento da soja leva de 70 dias, para as cultivares mais precoces, a 200 dias, para as mais tardias. Em geral, as variedades brasileiras têm ciclo de 100 dias e 160 dias, conforme seja a região (MÜLLER, 1981). O desenvolvimento da cultura é dividido em dois estádios: o vegetativo e o reprodutivo. O primeiro é o período compreendido entre a emergência ao n-ésimo nó; o segundo se inicia com as primeiras flores e vai até a maturação e, conseqüentemente, a colheita dos grãos (NOGUEIRA et al., 2009). Segundo Nogueira et al. (2013), existem tabelas diferentes para caracterizar os estádios de desenvolvimento da cultura da soja. Entretanto, a escala mais utilizada internacionalmente e a de Fehr e Caviness (1977), conforme o quadro a seguir.

QUADRO 1
Estádios de desenvolvimento da planta de acordo com Fehr e Caviness (1977)

| ESTÁDIO VEGETATIVO | |
|---------------------|--|
| VE | Emergência – cotilédones acima da superfície do solo |
| VC | Estádio cotiledonar – folhas unifolioladas alongadas de modo que os bordos não se tocam |
| V1 | 1° nó – folha completamente desenvolvida nos nós das folhas unifolioladas |
| V2 | 2° nó – folha trifólia completamente desenvolvida no nó acima dos nós das folhas unifolioladas |
| V3 | 3° nó – 3 nós sobre a haste principal com folhas completamente desenvolvidas, iniciando-se com os nós das folhas unifolioladas |
| Vn | N-ésimo nó – n número de nós sobre a haste principal com folhas completamente desenvolvidas, iniciando-se com os nós das folhas unifolioladas |
| ESTÁDIO REPRODUTIVO | |
| R1 | Início da floração – uma flor aberta em qualquer nó da haste principal |
| R2 | Floração plena – flor aberta em um dos dois últimos nós da haste principal com a folha completamente desenvolvida |
| R3 | Início da formação da vagem – vagem com 5 mm de comprimento em um dos quatro últimos nós superiores, sobre a haste principal, com a folha completamente desenvolvida |
| R4 | Vagem completamente desenvolvida – vagem com 2 cm de comprimento em um dos quatro últimos nós superiores, sobre a haste principal, com folha completamente desenvolvida |
| R5 | Início da formação da semente – semente com 3 mm de comprimento em uma vagem localizada em um dos 4 últimos nós superiores, sobre a haste principal, com a folha completamente desenvolvida |
| R6 | Semente completamente desenvolvida – vagem contendo semente verde que preencha a cavidade da vagem localizada em um dos quatro últimos nós superiores, sobre a haste principal, com folha completamente desenvolvida |
| R7 | Início da maturação – 1 vagem normal sobre a haste principal que tenha atingido a cor da vagem madura |
| R8 | Maturação plena – 95% de vagens que tenham atingido a cor da vagem madura; são necessários de 5 dias a 10 dias de tempo seco após o R8 para que a soja apresente menos que 15% de umidade |

Fonte: FEHR; CAVINESS, 1977

Quanto à morfologia, o sistema radicular da soja é constituído por uma raiz axial principal e por raízes secundárias, onde se formam os nódulos resultantes da simbiose com as bactérias do gênero *Bradyrhizobium*, que fixam o nitrogênio do ar atmosférico presente no solo para a planta e recebem o hidrato de carbono. Com isso, diminuem a adubação nitrogenada, o que resulta em custos menores com fertilizantes na semeadura (SEDIYAMA, 2013). O caule é do tipo herbáceo, ereto, pubescente e ramificado; seu desenvolvimento parte do eixo embrionário, do tipo ortótropo, que produz folhas em seus internódios e gemas laterais nas axilas que podem se modificar em ramificações ou inflorescência (NOGUEIRA et al., 2009).

A soja apresenta três tipos de folhas ao longo do seu desenvolvimento: as cotiledonares ou embrionárias; as simples ou unifolioladas no estágio inicial do desenvolvimento da cultura e as folhas trifolioladas ou compostas que aparecem no estágio vegetativo e reprodutivo e são compostas por três folíolos: um terminal, dois laterais. Em geral, as flores apresentam coloração roxa ou branca, são formadas pelo cálice, pela corola, pelo androceu e pelo gineceu; ou seja, são completas. A antese geralmente ocorre de manhã, sob influência das condições de temperatura e umidade (SEDIYAMA; TEIXEIRA; REIS, 2005).

O número de flores produzidas geralmente é superior ao que a planta pode fecundar em vagens. Van Schaik e Probst (1958) relatam que uma planta pode emitir até 800 flores, com taxa de fertilização de 13% a 57%, conforme o genótipo e as condições ambientais. O período total de florescimento dura entre três semanas e mais de cinco semanas, dependendo do genótipo e do ambiente. De um dia a dois dias antes da abertura floral, o estigma se torna receptível para a fecundação (NOGUEIRA et al., 2009).

O fruto é do tipo vagem, que, por inflorescência, pode variar de 2 vagens a 20 e chegar a 400 vagens por planta. A coloração delas muda de marrom a amarelo-palha no estágio de maturidade, enquanto o número de grãos oscila de 1 grão a 5 grãos por vagem. As sementes são compostas por embrião completamente desenvolvido, têm variações quanto a forma, tamanho e cor, e seu peso pode variar de 2 g a 30 g por 100 sementes (SEDIYAMA et al., 2013a).

Quanto ao tipo de crescimento da haste principal, as cultivares podem apresentar crescimento determinado, semideterminado e indeterminado. O primeiro consiste no desenvolvimento terminal do caule com o surgimento de uma gema terminal que se transforma em uma inflorescência terminal ou racemos florais. Assim, após o início do

florescimento, as plantas crescem pouco, pois ao entrar no seu estágio reprodutivo a planta já atingiu quase 90% da sua altura final. O resultado é um número menor de nós, enquanto a maturação das vagens ocorre de cima para baixo (SEDIYAMA; TEIXEIRA; REIS, 2005).

As cultivares classificadas como de crescimento indeterminado se caracterizam por apresentar caule alongado, onde a gema terminal se mantém em atividade vegetativa mesmo após o florescimento, desenvolvendo nós e resultando em altura maior e maior número de nós na haste principal. Após o florescimento, a altura pode até dobrar. A parte terminal do caule é mais delgada, e as folhas e os pecíolos têm dimensões maiores na região central do caule. A maturação das vagens começa na parte inferior da planta (BORÉM, 1999; (SEDIYAMA; TEIXEIRA; REIS, 2005; NOGUEIRA et al., 2009).

As cultivares com tipo de crescimento semideterminado apresentam inflorescência racemosa terminal e axilar, semelhante às de crescimento determinado. Porém, ao florescer, apresenta quase 70% de altura; depois continua seu crescimento. A maturação das vagens é semelhante à das plantas de crescimento determinado (SEDIYAMA; TEIXEIRA; REIS, 2005; NOGUEIRA et al., 2009).

Garner e Allard (1920) verificaram a importância do comprimento do dia para a indução floral das plantas de soja. Denominaram esse fenômeno de fotoperiodismo e classificaram a soja como espécie de dias curtos. Noutros termos, a planta é induzida ao florescimento quando o comprimento do dia é menor que determinado nível crítico, específico de cada genótipo.

Algumas variedades são sensíveis a mudanças de latitudes ou a sementeiras fora de épocas, que levam a dias longos, com número maior de horas de luz. Como isso provoca redução no período vegetativo, as plantas de soja florescem mais cedo, o que reduz o porte delas e, conseqüentemente, o rendimento de grãos. Assim, com o desenvolvimento da soja com o período juvenil longo, durante a fase juvenil não há indução ao florescimento, mesmo quando a soja é submetida a fotoperíodo indutivo. Com isso, é possível obter crescimento vegetativo maior (BORÉM, 1999).

2.4 Melhoramento genético

As pesquisas sobre a cultura da soja no Brasil começaram na década de 1930, no Rio Grande do Sul. Em 1947, houve as primeiras hibridações para obter cultivares via cruzamentos artificiais (SEDIYAMA; TEIXEIRA; REIS, 1999). A Lei de Proteção de

Cultivares (LPC) — lei 9.456, de 25 de abril de 1997 — veio garantir os direitos dos obtentores de novas cultivares vegetais. A proteção dos direitos intelectuais sobre a cultivar se efetua mediante a obtenção de um certificado concedido pelo Serviço Nacional de Proteção de Cultivares/SNPC (NOGUEIRA et al., 2008). Além disso, as pesquisas sobre o melhoramento genético foram reconhecidas (NETO et al., 2005).

Borém e Miranda (2013, p. 19) conceituaram o melhoramento de plantas como “[...] a arte e a ciência que visam à modificação gênica das plantas para torná-las mais úteis ao homem”. Com a descoberta da reprodução sexual e as hibridações de tipos diferentes de genótipos, o melhoramento genético de soja buscou descobrir cultivares e introduzir genes que condicionam características desejáveis em cultivares já existentes. O resultado se traduziu na caracterização e purificação dessas linhagens e na posterior multiplicação dos materiais com melhor adaptação ao nosso meio (COSTA, 1996).

Um programa de melhoramento genético de soja se inicia com o planejamento. Estabelecem-se a meta a alcançar em dado período de tempo e os objetivos principais — o desenvolvimento de cultivares adaptadas a diferentes regiões, a alta produtividade de grãos, a resistência às principais doenças e o ciclo adequado de desenvolvimento da planta (SEDIYAMA; TEIXEIRA; REIS, 2005). Conforme sejam os objetivos e os recursos disponíveis, o melhorista deve selecionar uma população-base de trabalho para ampliar a variabilidade genética e obter combinações melhores para desenvolver cultivares que superem as do mercado. A formação dessa população-base no melhoramento genético clássico começa na hibridação artificial entre parentais com características desejáveis e coerentes com os objetivos gerais e específicos do programa de melhoramento (ALMEIDA; KIHL, 1998).

Uma segunda fase do programa é o processo de seleção e avaliação das linhagens, em que essas populações são conduzidas por várias gerações até se obter certo grau de homozigose. Assim, tais populações são submetidas à seleção para indicação de genótipos superiores divergentes e com características desejáveis. Em seguida, as linhagens selecionadas são submetidas a ensaios preliminares, intermediários e finais, a fim de selecionar as linhagens superiores para características quantitativas (LAVORANTI et al., 2004).

No avanço das gerações das populações segregantes, os métodos de melhoramento mais utilizados são: genealógico (*pedigree*), SSD (*single seed descent*), população (*bulk*), descendente de uma única vagem (SPD – *single pod descent*) e retrocruzamento. Entretanto, modificações e/ou combinações de métodos podem ser

usados como alternativas no processo de avanço de gerações (SEDIYAMA et al., 2013). No método *bulk*, quando se objetiva a linhagens homocigóticas de um cruzamento ou de mais cruzamentos, utiliza-se o avanço de gerações a partir da geração F2. Colhem-se todas as sementes de todas as plantas, sem seleção, e retira-se uma amostra para obter a geração F3; e assim sucessivamente, até a geração de F5 a F7. Um dos problemas com esse método é a necessidade de selecionar grande número de plantas nas gerações mais avançadas para teste de progênie. Por isso, não é empregado amplamente (SEDIYAMA; TEIXEIRA; REIS, 2005).

Ao contrário do método *bulk*, o genealógico ou *pedigree* é muito usado pelos melhoristas porque permite fazer uma seleção das plantas fenotipicamente superiores em separado, a partir das gerações segregantes, por meio da seleção das melhores linhas; e, dentro destas, as melhores plantas repetidas nas gerações seguintes, até atingir a uniformidade genética expressa fenotipicamente (BORÉM; MIRANDA, 2013).

No método descendente de uma única semente (SPD) colhe-se uma vagem de cada planta F2, a qual vai constituir a geração F3. Esse procedimento é repetido até que um nível de homocigose seja alcançado. O método é mais empregado em casa de vegetação onde se colocam de 2 a 3 sementes de uma mesma vagem por cova em um único vaso. Após a emergência, faz-se o desbaste para uma única planta por cova. A vantagem desse método é permitir realizar até três gerações por ano, o que o torna menos oneroso e ocupa menos espaço por vaso (BORÉM; MIRANDA, 2013).

O método de retrocruzamento é empregado amplamente para o desenvolvimento de cultivares resistentes a doenças. Baseia-se no desenvolvimento de uma cultivar por meio de retrocruzamentos recorrentes com um genitor recorrente. Assim, utilizam-se dois genitores. Um é o genótipo em que se deseja corrigir alguma falha — é denominado genitor recorrente; o outro é o genitor doador, que tem a característica desejável de ser transferida para o genitor recorrente. Uma vez obtido o híbrido F1, este é cruzado com o genitor recorrente, num processo que é repetido até se recuperar o genoma do genitor recorrente (SEDIYAMA; TEIXEIRA; REIS, 2005). A limitação desse método refere-se aos poucos caracteres que são melhorados na nova cultivar (FEHR, 1981).

Após a seleção de genótipos superiores, as plantas selecionadas são submetidas ao teste de progênie, para se avaliar a uniformidade das linhagens pelas características agrônômicas de cada genótipo. Por exemplo: número de dias para floração, número de dias para maturidade, altura da planta, altura da primeira vagem, produtividade de grãos

etc. Esses testes são conduzidos em localidades representativas da região de cultivo da soja (BORÉM; MIRANDA, 2013).

Os ensaios de avaliação das características agronômicas são denominados Ensaio Preliminar 1 (EP-1), Ensaio Preliminar 2 (EP-2), Ensaio Intermediário (EI) e Ensaio Final (EFI). As avaliações preliminares geralmente envolvem um número maior de linhagens e são conduzidas em um local ou em dois locais. O ensaio intermediário é conduzido em três locais em cada estado ou região, avaliados em um ano, como nos ensaios preliminares. No ensaio final são avaliadas, no máximo, 18 linhagens em, no mínimo, dois anos, conduzidos em oito e dez locais (SEDIYAMA; TEIXEIRA; REIS, 2005).

Após serem avaliadas as linhagens em testes comparativos de rendimento durante dois anos e ser estabelecido o Valor de Cultivo e Uso (VCU) das linhagens superiores, pode-se solicitar o registro para ser lançadas (BORÉM; MIRANDA, 2013). O registro das cultivares no Serviço Nacional de Proteção de Cultivares (SNPC) se baseia nos dados de produtividade, adaptação, ciclo de maturação e altura de plantas (EMBRAPA, 2013).

De acordo com Correia (2007), uma vez que o crescimento da produção e o aumento da capacidade competitiva da soja se associam com os avanços científicos e a disponibilização de tecnologias do setor produtivo, justifica-se a necessidade do estudo biotecnológico contínuos sobre essa cultura.

2.5 Interação genótipos por ambientes

O objetivo de muitos programas de melhoramento genético de plantas é proporcionar aos agricultores cultivares superiores às existentes no mercado em rendimento de grão, alta estabilidade e adaptabilidade a dadas condições ambientais. Atingir esse objetivo requer compreender os fatores que levam a um fenótipo favorável (MALOSETTI; RIBAUT; EEUWIJK, 2013).

Borém e Miranda (2013) classificaram o ambiente como as condições edafoclimáticas associadas com práticas culturais, ocorrência de patógenos e outras variáveis que afetam o desenvolvimento das plantas. Para Warner (1952), ambiente é a variação de local ou ano de cultivo influenciada pelo desempenho de dado genótipo pela maior ou menor sensibilidade às flutuações ambientais. Segundo Comstock e Moll

(1963), ambiente inclui atributos físicos e químicos do solo onde as plantas se desenvolvem.

Allard e Bradshaw (1964) dividiram as variáveis ambientais em dois grupos: previsíveis e imprevisíveis. A primeira categoria inclui as características permanentes de ambientes com características gerais de clima e tipo solo; as que ocorrem sistematicamente como o comprimento do dia e as características determinadas pela ação do homem — data de semeadura e densidade de semeadura, dentre outras práticas agrônômicas. As variações ambientais imprevisíveis incluem flutuações no clima, tais como quantidade e distribuição de chuvas e temperatura.

Os ambientes ainda podem ser divididos em microambientes e macroambientes. Para Borém e Miranda (2013), os microambientes estão relacionados com ambientes onde duas plantas na mesma parcela experimental estão sujeitas a ambientes distintos. Os macroambientes são usados para distinguir ambientes de duas regiões ou de duas safras.

Os genótipos com alto potencial produtivo de grãos podem apresentar desempenho diferenciado quando cultivados em ambientes distintos. O comportamento diferencial de um mesmo genótipo em ambientes variados é denominado interação genótipos por ambientes (G x A). Essa interação corresponde à resposta diferencial dos genótipos às mudanças dos ambientes (BOS; GALIGARI, 1997), evidenciando a dependência dos efeitos genéticos e ambientais.

A interação G x A torna-se relevante para o melhoramento porque, quando é significativa, há possibilidade de identificar o genótipo melhor em um ambiente que não é o melhor em outro ambiente. As causas dessa interação são atribuídas a fatores fisiológicos e bioquímicos próprios de cada genótipo cultivado (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012).

A expressão fenotípica do genótipo por ambientes para o caráter produtividade de grãos pode reduzir a correlação entre fenótipo e genótipo, aumentando a variância genética, a herdabilidade e o ganho genético esperado com a seleção (ROCHA; VELLO, 1999). O estudo desses caracteres exige avaliação extensiva (ensaios conduzidos em vários locais e anos) para identificar genótipos superiores, em produtividade e estabilidade de produção, em dada amplitude de ambientes (MAIA et al., 2006).

Segundo Vencovsky e Barriga (1992), não basta detectar a presença da interação; é necessário considerar sua natureza. Assim, a interação (G x A) pode ser simples

quando é proporcionada pela diferença de variabilidade entre os genótipos nos ambientes. Mas a recomendação das cultivares pode ser feita de maneira generalizada; mais que isso, pode ser complexa quando denota a falta de correlação entre genótipo (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012) e, conseqüentemente, genótipos com desempenho superior em um ambiente, mas não em outro. Como isso, torna-se mais difícil a seleção; isto é, existem mais dificuldades no melhoramento, pois a recomendação é restrita a ambientes específicos (XIE; MOSJIDIS, 1996).

A identificação da interação $G \times A$ é vantajosa para o melhoramento porque genótipos que interagem positivamente com ambientes podem fazer a diferença entre um bom cultivar e um ótimo cultivar (DUARTE; VENCOVSKY, 1999). Esse enfoque passa a ter mais importância para a cultura da soja, em que o investimento em insumos e manejo para melhoria do ambiente é muito alto.

Das etapas de um programa de melhoramento de plantas, os ensaios de avaliação de genótipos, denominado Valor de Cultivo e Uso (VCU), em diferentes condições ambientais, representa em geral o mais trabalhoso e, conseqüentemente, o mais oneroso (CHAVES, 2001). Para haver mais eficiência na avaliação é necessário implantar esses ensaios em quatro localidades ou mais, por dois anos ou mais, com base no delineamento de blocos casualizados com três repetições ou mais (BORÉM; MIRANDA, 2013).

Para avaliar estatisticamente a interação $G \times A$, o método mais antigo, porém o mais usado é a análise de variância (ANAVA), por meio da análise conjunta dos ensaios de VCU desenvolvidos em vários locais e em várias safras. Tal procedimento estuda não apenas os efeitos isolados de genótipos, locais e safras, mas também a interação $G \times A$. O teste F determina a existência dessa interação, a qual estatisticamente é detectada como um padrão de resposta diferencial e significativo dos genótipos entre ambientes; isto é, quando as expressões dos genes diferem entre ambientes (BASFORD; COOPER, 1998).

Em geral, ampliar o número de locais de teste pode substituir a safra de avaliação. Isso porque quanto mais locais forem avaliados, mais informações sobre o comportamento dos genótipos serão obtidas em virtude das diferenças de solo e da distribuição pluviométrica; quanto aos efeitos de safras, são, sobretudo, de natureza climática. Sempre que possível, deve-se substituir safra por local em benefício da redução do tempo no desenvolvimento de novas variedades (BORÉM; MIRANDA, 2013).

Na escolha de campos experimentais para realizar os ensaios de VCU, deve-se usar os da região para a qual se deseja desenvolver as variedades. A localidade dos ensaios deve favorecer a expressão máxima do potencial dos genótipos. Todavia, muitas vezes a escolha é arbitrária. Tem sido relatado que ambientes com condições para máxima produtividade são os melhores para selecionar genótipos altamente produtivos (BORÉM; MIRANDA, 2013). Outros autores argumentam que a seleção deveria ser conduzida em localidades semelhantes àquelas onde a futura variedade será cultivada.

2.6 Adaptabilidade e estabilidade

O estudo da interação $G \times A$ é de grande relevância ao melhoramento, mas não fornece informações sobre o comportamento de cada genótipo em diferentes ambientes. Eis por que são úteis os estudos de adaptabilidade e estabilidade; dependendo da metodologia usada, é possível obter informações do ambiente, caracterizando-os como favoráveis ou desfavoráveis, e do genótipo, identificando aquele com capacidade de aproveitar o estímulo do ambiente e apresentar um comportamento previsível e que seja responsivo às variações ambientais em condições distintas (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012).

Entende-se por adaptabilidade de uma cultivar sua capacidade de aproveitar vantajosamente o estímulo do ambiente. A estabilidade refere-se à sua capacidade de apresentar desempenho altamente previsível em razão das variações do ambiente (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012; BORÉM; MIRANDA, 2013). Diferentes métodos estatísticos permitem inferir sobre a adaptabilidade e estabilidade fenotípica, com a identificação de genótipos estáveis e que podem ser recomendados para todos os ambientes; desde que apresentem características desejáveis aos objetivos do programa de melhoramento e superem as cultivares do mercado (DUARTE; VENCOVSKY, 1999).

Entre as metodologias estudadas para adaptabilidade e estabilidade de genótipos, destacam-se os métodos paramétricos baseados em regressão linear (EBERHART; RUSSEL, 1966), empregado em vários trabalhos de soja (PRADO et al., 2001; GONÇALVES et al., 2007; DIAS et al., 2009; FRANCO; HAMAWAKI, 2009; OLIVEIRA et al., 2012), que identificaram genótipos com ampla adaptação ou genótipos estáveis, com adaptação específica a ambientes favoráveis (produtividade média alta) e desfavoráveis (produtividade média baixa).

Por outro lado, métodos não paramétricos como os desenvolvidos por Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998) são muito usados para avaliação em soja porque suprem as necessidades de identificar genótipos superiores nos grupos de ambientes favoráveis e desfavoráveis. Esse método é uma boa alternativa na avaliação da estabilidade, pois não limitam o uso da regressão e possibilitam identificar uma cultivar, ou mais de uma, com desempenho próximo do máximo nos vários ambientes testados (CARVALHO et al., 2002; SILVA; DUARTE, 2006).

Além dessas metodologias, existem análises multivariadas que têm sido utilizadas para verificar a adaptabilidade e estabilidade em soja. Dentre os métodos multivariados, o AMMI também tem sido muito usado para tal cultura (PACHECO et al., 2003; SILVA; DUARTE, 2006).

2.6.1 Método de Eberhart e Russel (1966)

Um dos métodos mais empregados para estudar a adaptabilidade e estabilidade de genótipos de soja é o de Eberhart e Russel (1966). Trata-se de um método paramétrico que se baseia numa análise de regressão linear simples, na qual o efeito do ambiente é a variável independente e a produtividade média de cada genótipo, em cada ambiente, representa a variável dependente.

O modelo estatístico é dado por:

$$Y_{ij} = \beta_{0i} + \beta_{1i}I_j + \delta_{ij} + \bar{\epsilon}_{ij}$$

Onde:

Y_{ij} : média do genótipo i no ambiente j ;

β_{0i} : média geral do genótipo i ; ($\hat{\beta}_{0i} = \bar{Y}_i$);

β_{1i} : coeficiente de regressão linear, que descreve a resposta do i -ésimo genótipo

à variação do ambiente; $\hat{\beta}_{1i} = \frac{\sum_j Y_{ij} I_j}{\sum_j I_j^2}$

I_j : índice ambiental codificado $\left(\sum_j I_j = 0 \right)$;

δ_{ij} : desvio da regressão do genótipo i no ambiente j ;

$\bar{\epsilon}_{ij}$: erro experimental médio.

$$\hat{\sigma}_{di}^2 = \frac{(QMD_i - QMR)}{r}$$

Em que:

σ_{di}^2 : parâmetro de estabilidade;

QMD_i : quadrado médio os desvios da regressão do genótipo i;

QMR : quadrado médio do resíduo;

r : número de repetições;

$$R_i^2 = \left[\frac{SQ(R. Linear)_i}{SQ\left(\frac{A}{G_i}\right)} \right] \times 100$$

Sendo:

R_i^2 : coeficiente de determinação do genótipo i;

$SQ(R. Linear)_i$: a soma de quadrados da regressão linear do genótipo i;

$SQ(A/G_i)$: soma de quadrados de ambiente dentro do genótipo i.

Esse método considera como parâmetro de adaptabilidade e estabilidade o coeficiente de regressão (β_{1i}), a variância dos desvios da regressão (σ_{di}^2) e/ou coeficiente de determinação (R^2) e a produtividade média (β_0). Conforme Eberhart e Russel (1966), o genótipo ideal é aquele que apresenta alta produtividade média, e com ampla adaptabilidade; isto é, apresenta β_{1i} igual à unidade e alta estabilidade, que equivale a desvios σ_{di}^2 igual a 0 ou tão pequeno quanto possíveis e/ou R^2 igual a 1 ou próximo de 100%. Esses dois autores consideraram que um genótipo com adaptabilidade específica a ambientes favoráveis apresenta β_{1i} maior que 1 e que, quando os genótipos apresentam β_{1i} menor que 1, têm um desempenho melhor em ambientes desfavoráveis. Genótipos que apresentam σ_{di}^2 maior que 0 são classificados como de baixa estabilidade (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012).

Em estudo sobre a adaptabilidade e estabilidade de cultivares de soja em várzea irrigada no Tocantins, Pelúzio et al. (2010) objetivaram avaliar o desempenho dos cultivares pelo caráter rendimento de grãos usando o método de Eberhart e Russel (1966) e obtiveram confiabilidade na classificação dos dados ao classificar os genótipos adaptados a ambientes favoráveis e desfavoráveis.

2.6.2 Método Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998)

O método de Lin e Binns (1988) é mais simples. Baseado em análise não paramétrica, tem sido empregado pela sua facilidade de análise e simplicidade dos

resultados obtidos. Além de ser boa alternativa na avaliação da estabilidade, pois não apresenta limitações mencionadas com uso da regressão, possibilita identificar uma cultivar ou mais cultivares com desempenho próximo do máximo nos vários ambientes testados. O método foi modificado por Carneiro (1998) para suprir as necessidades de identificar genótipos superiores nos grupos de ambientes favoráveis e desfavoráveis.

Nessa metodologia, o parâmetro principal de estabilidade é definido, como índice, de estabilidade (P_i) a medida de superioridade máxima de um genótipo. Esse parâmetro corresponde ao quadrado médio da distância entre a resposta de determinado genótipo que apresenta produtividade máxima comparada com a dos demais genótipos, em um dado ambiente. Dessa forma, o quadrado médio indica uma superioridade geral do genótipo em questão, pois quanto menor for o valor de P_i , mais estável é o genótipo (DAHER et al., 2003).

O modelo matemático é dado por:

$$P_i = \frac{\sum_{j=1}^n (X_{ij} - M_j)^2}{2n}$$

Em que:

P_i : estimativa do parâmetro de estabilidade de genótipo i ;

X_{ij} : média do genótipo i no ambiente j ;

M_j : resposta média máxima do genótipo mais produtivo observada entre todos os genótipos no ambiente j ;

n : número de ambientes.

Assim, para o parâmetro P_i em ambientes favoráveis P_{if} :

$$P_{if} = \frac{\sum_{j=1}^f (X_{ij} - M_j)^2}{2f}$$

Em que:

f : é o número de ambientes favoráveis.

E para o parâmetro P_i decomposto em ambientes desfavoráveis P_{id} .

$$P_{id} = \frac{\sum_{j=1}^d (X_{ij} - M_j)^2}{2d}$$

Em que:

d : é o número de ambientes desfavoráveis.

P_{if} e P_{id} : são os quadrados médios das distâncias em relação a M_j , os genótipos que mostram os menores valores de P_{if} e P_{id} são os mais estáveis e adaptados a ambientes favoráveis e desfavoráveis, respectivamente.

Em estudo sobre a estabilidade e adaptabilidade produtiva de 30 genótipos de soja em seis ambientes do Mato Grosso, Barros et al. (2008) observaram que os métodos de Eberhart e Russel (1966) e Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998) apresentaram correlações positivas e significativas na classificação dos genótipos. Mas relataram que esse último revelou melhor a realidade dos genótipos. Barros et al. (2010) também compararam as metodologias de Eberhart e Russel (1996) e Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998); e concluíram que apresentaram correlações positivas e significativas para 17 genótipos avaliados. Os genótipos com produtividade média elevada (superior à média geral) podem apresentar ampla adaptabilidade e alta estabilidade. Para 3 genótipos dos 17 avaliados, houve discordância da classificação pelo método Eberhart e Russel (1996). Tais cultivares foram classificadas como de alta estabilidade, enquanto na metodologia Lin e Binns (1998) modificada por Carneiro (1998) foram classificadas como de estabilidade intermediária.

2.6.3 Análise AMMI

O método multivariado vem ganhando espaço em uso. Proposto inicialmente por Mandel (1971), com o objetivo principal de selecionar modelos aditivos que se baseiam na decomposição da interação genótipo (g)_i e ambientes (a)_j, e descartando os ruídos presentes nos dados sem interesse agrônomo, o método é um dos modelos multiplicativos para os efeitos da interação (ga)_{ij}, pela análise de componentes principais (ACP), que permite mais detalhamento da soma dos quadrados da interação (ZOBEL et al., 1988). O objetivo da análise dos componentes principais é reduzir a quantidade de dados sem perder as informações (VARELA, 2008). O número de componentes principais determina o tipo de modelo AMMI que será escolhido. Segundo Cruz, Regazzi e Carneiro (2012), os componentes principais selecionados são aqueles que acumulam 70% ou mais de proporção da variação total.

O método AMMI pode auxiliar tanto na recomendação de genótipos com produtividade alta e adaptação ampla a ambientes diferentes quanto na regionalização do zoneamento agrônomo e seleção de locais para ensaios de linhagens — VCU

(GAUCH; ZOBE, 1996). A análise possibilita fácil representação gráfica dos genótipos e ambientes em um diagrama de dispersão multivariado (*biplot*), o que facilita a sumarização dos dados e a interpretação das relações de similaridade e complementaridade, entre e dentro de genótipos e ambientes (GAUCH; ZOBE, 1996).

Em seus estudos, Miranda (2005) demonstrou que a análise AMMI permitiu explorar os efeitos positivos da interação G x A, em que genótipos de alta interação podem ter sua adaptação específica visualizada no gráfico *biplot*. Ramalho et al. (2012) também usou o método como alternativa adequada para interpretar e compreender os padrões diferentes de interação. No que se refere à soja, esse tipo de análise vem sendo bastante utilizado (MEOTTI et al., 2012; MARTINS et al., 2012; AMIRA et al., 2013).

A representação gráfica em *biplot* utiliza uma matriz de dados em que são “plotados” os escores dos efeitos da interação para cada genótipo e cada ambiente, simultaneamente. Escores baixos indicam genótipos e/ou ambientes que contribuem pouco ou quase nada para a interação; ou seja, são estáveis, mostrando-se amplamente adaptados aos ambientes de teste. Tais genótipos podem ser recomendados desde que apresentem médias elevadas (DUARTE; VENCOSKY, 1999). O cálculo se dá através da expressão:

$$\bar{Y}_{ij} = \mu + g_i + a_j + \sum_{c=1}^q \sqrt{\lambda_c} \alpha_{ic} \gamma_{jc} + \delta_{ij} + \bar{e}_{ij}$$

Em que:

\bar{Y}_{ij} : média observada para a variável resposta do genótipo *i* no ambiente *j*;

μ : média geral;

g_i : efeito do genótipo *i*, *i* = 1, 2...*g*;

a_j : efeito do ambiente *j*, *j* = 1...*a*;

λ_c : autovalor do *c*-ésimo componente principal relacionado à interação G x A;

α_{ic} : autovalor do *c*-ésimo componente principal relacionado ao genótipo *i*;

γ_{jc} : autovetor do *c*-ésimo componente principal relacionado ao ambiente *j*;

δ_{ij} : resíduo ou ruído não explicado pelos componentes principais;

\bar{e}_{ij} : erro experimental médio, sendo $\bar{e}_{ij} \sim N(0; V_e/r)$, *r* é o número de repetições,

O número de componentes principais varia de 1 a *q*.

Silva et al. (2006) avaliaram os métodos de análise da interação G x A enfatizando a adaptabilidade e estabilidade fenotípica e utilizando dados de produtividade de grãos de 24 genótipos de soja e 4 testemunhas, observadas em sete experimentos. Concluíram que os métodos Plaisted e Peterson, Wricke, Finlay e Wilkinson, Eberhart e Russell, Verma, Chahal e Murty, Toler, AMMI, Hühn, Annicchiarico e Lin e Binns e Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998), combinados com Eberhart e Russel (1996), agregaram informação à análise de estabilidade. Segundo os autores, a associação entre os métodos de Eberhart e Russel (1996) e AMMI, aliada à complementaridade de suas informações, permitiram indicar seu uso combinado em estudos de estabilidade e adaptabilidade fenotípica.

MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material genético

Avaliaram-se sete genótipos de soja de ciclo precoce: cinco linhagens desenvolvidas pelo programa de melhoramento genético de soja da Universidade Federal de Uberlândia (L01V13, L02V13, L03V13, L04V13, L05V13) e duas testemunhas (UFUS Guarani e M-SOY6101). As características principais das testemunhas estão na Tabela 1.

TABELA 1. Principais características das duas testemunhas utilizadas nos ensaios de VCU

| CULTIVAR | CICLO | REGIÕES ADAPTADAS | POTENCIAL PRODUTIVO (KG HA ⁻¹) |
|---------------------------|-----------|--------------------|--|
| ¹ UFUS Guarani | 120 | GO, MG, BA, MT, TO | 4500 |
| ² M-SOY 6101 | 105 a 110 | MS, GO, SP, MT | 3600 |

¹ Cultivares provenientes do programa de melhoramento de soja da UFU.

² Cultivar proveniente da empresa Monsanto, em Uberlândia, MG.

3.2 Locais de cultivo

Os ensaios foram instalados em sete ambientes: Palmeiras de Goiás safra 2011/12 e Palmeiras de Goiás safra 2012/13; Urutaí (GO) safra 2010/11 e Urutaí (GO) safra 2011/12; Goiatuba (GO) safra 2011/12 e Luís Eduardo Magalhães (BA) safra 2011/12 e Luís Eduardo Magalhães safra 2012/13. Foram cultivados em três safras: 2010/11, 2011/12 e 2012/13, conforme consta na Tabela 2.

TABELA 2. Altitude, latitude, longitude e safra de ensaios de competição de genótipos de soja de ciclo precoce em Goiás e na Bahia

| AMBIENTE | ESTADO | ALTITUDE (M) | LATITUDE | LONGITUDE | SAFRA |
|------------------------|--------|--------------|--------------|--------------|---------|
| Urutaí | GO | 751 | 17°29'20.30" | 48°12'50.19" | 2010/11 |
| Goiatuba | GO | 761 | 18°00'17.22" | 49°15'35.08" | 2011/12 |
| Urutaí | GO | 751 | 17°29'20.30" | 48°12'50.19" | 2011/12 |
| Palmeiras de Goiás | GO | 654 | 16°50'02.19" | 49°52'46.34" | 2011/12 |
| Luiz Eduardo Magalhães | BA | 760 | 12°05'38.93" | 45°46'06.60" | 2011/12 |
| Palmeiras de Goiás | GO | 654 | 16°50'02.19" | 49°52'46.34" | 2012/13 |
| Luís Eduardo Magalhães | BA | 760 | 12°05'38.93" | 45°46'06.60" | 2012/13 |

A escolha dos locais foi definida conforme as regiões produtoras de interesse para o lançamento de uma cultivar.

3.3 Implantação e condução dos ensaios

Antes da semeadura de cada ensaio, foram coletadas amostras de solo e realizadas as análises química e física, para fins de recomendação de calagem e adubação das áreas de cultivo. Com isso, houve dispensa da correção. Utilizou-se o sistema plantio direto, no qual, antes da semeadura manual, foi realizada dessecação com os princípios ativos Glyphosate e 2,4-D, nas dosagens: 3,5 + 0,5 litro do produto comercial por hectare, respectivamente. Após sete dias da dessecação, a área foi sulcada e adubada conforme a análise do solo para cada local. Foram seguidas as recomendações da 5ª aproximação (RIBEIRO et al., 1999), com uma semeadora padrão de cada região.

As sementes foram tratadas com fungicida sistêmico e de contato Fludioxonil e Metalaxyl, na dosagem de 100mL do produto comercial por 100 kg de semente e o inseticida sistêmico Thiamethoxam, na dosagem de 200mL do produto comercial por 100 kg de semente. Por fim, procedeu-se à inoculação das sementes com o inoculante Biomax, na proporção de 7×10^8 células mL⁻¹ de Bradyrhizobium por sementes. Foram usados 150 mL para cada 50 kg de semente. As estirpes SEMIA 5079 e SEMIA 5080 estavam presentes no inoculante.

Tratos culturais como o controle de plantas daninhas, pragas (percevejos e lagartas), doenças (ferrugem asiática, antracnose) foram realizados sempre que se fizeram necessários, conforme as recomendações técnicas apropriadas à cultura (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA/EMBRAPA, 2010; 2011).

3.4 Delineamento experimental

Para cada local, adotou-se o delineamento de blocos completos casualizados (DBC) com três repetições. As parcelas foram constituídas por quatro linhas de plantas de soja de cinco metros de comprimento, espaçadas entre si em 0,5 metro, que totalizaram uma área de dez metros quadrados. A parcela útil constituiu-se das duas linhas centrais, desprezando-se 0,5 m de cada extremidade. O total da área foi de quatro metros quadrados. Na semeadura manual objetivou-se atingir a população de 400 mil plantas ha⁻¹, sendo distribuídas 20 sementes por metro.

3.5 Caráter estudado

Avaliou-se o caráter produtividade de grãos (kg ha^{-1}), obtida por meio da colheita manual da área útil de cada parcela, quando as plantas se encontravam em estágio R8 havia mais dez dias (FEHR; CAVINESS, 1977). Após a colheita, as plantas foram trilhadas, antes do beneficiamento manual dos grãos. Os dados obtidos (gramas por parcelas) foram transformados para kg ha^{-1} e ajustados para 13% de umidade, conforme a equação a seguir.

$$PF = PI \frac{(100-UI)}{100-UF}$$

Em que:

PF: peso final da amostra (peso corrigido);

PI: peso inicial da amostra;

UI: umidade inicial da amostra;

UF: umidade final da amostra (13%).

3.6 Análise estatística

Após a obtenção dos dados, estes foram submetidos à análise de variância individual, para cada ambiente, a fim de se realizar depois o teste de Hartley (1950) — razão de variância, que indica se as variâncias residuais são homogêneas por meio da razão entre o maior e menor quadrado médio residual (QMR) considerando-se 7 como valor limitante para realização da análise de variância conjunta, conforme descrito por Ramalho et al. (2012). Consideraram-se fixos os efeitos de genótipos e ambientes. Procedeu-se à análise de variância conjunta. Após esses ajustes, foram feitas as interpretações relativas à significância do teste F na análise da variância, visando detectar a existência da interação G x A.

Realizou-se o estudo da interação G x A a partir da decomposição em partes complexas entre pares de ambientes, conforme descrito por Cruz e Castoldi (1991). Assim, a parte complexa foi obtida pelo estimador abaixo:

$$C = \sqrt{(1-r)^3} \sqrt{Q_1 Q_2}$$

Em que:

Q_1 e Q_2 : quadrados médios dos genótipos nos ambientes 1 e 2, respectivamente;

r: correlação entre as médias dos genótipos nos dois ambientes.

Foram estimadas as correlações fenotípicas e genotípicas entre os pares de ambientes, por meio de:

$$r_f = \frac{\text{COV}(Y_{ij}, Y_{ij'})}{\sqrt{\hat{V}(Y_j) \hat{V}(Y_{j'})}}$$

Sendo:

$\text{COV}(Y_{ij}, Y_{ij'})$: covariância fenotípica da produtividade de grãos, avaliada no ambiente j e j' ;

$\hat{V}(Y_j)$: variância fenotípica da produtividade de grãos no ambiente j ; e

$\hat{V}(Y_{j'})$: variância fenotípica da produtividade de grãos no ambiente j' .

O coeficiente de correlação genotípico foi estimado mediante esta expressão:

$$r_g = \frac{\hat{\Phi}_{g(jj')}}{\hat{\Phi}_{g(jj')} + \hat{\Phi}_{ga(jj')}}}$$

$\hat{\Phi}_{g(jj')}$: variabilidade genética da produtividade de grãos entre o ambiente j e j' ; e

$\hat{\Phi}_{ga(jj')}$: variabilidade da interação.

Foi estimado o coeficiente de determinação genotípico (h^2) com base no método da análise de variância dado por:

$$h^2 = \frac{\hat{\Phi}_g}{QMT/r}$$

$$\hat{\Phi}_g = \frac{QMT - QMR}{r}$$

Em que:

h^2 : coeficiente de determinação genotípico;

$\hat{\Phi}_g$: componente quadrático genético;

QMT : quadrado médio de genótipos;

QMR : quadrado médio do resíduo; e

r : número de repetições.

A significância estatística do coeficiente de correlação fenotípico foi testada pelo teste t ao nível de 5% de probabilidade. Depois de ser detectada a interação $G \times A$

significativa, procedeu-se a análise de adaptabilidade e estabilidade fenotípica pelos métodos de Eberhart e Russel (1966), Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998) e análise AMMI. As análises estatísticas foram realizadas com os programas Genes (aplicativo computacional em genética e estatística), Cruz (2006) e Estabilidade (FERREIRA, 2002).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por meio da análise de variância conjunta apresentada na Tabela 3, observou-se a ocorrência de interação G x A significativa ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F, indicando alteração no desempenho produtivo dos genótipos de soja nos sete ambientes avaliados. Esse fato dificulta a recomendação de cultivares para os municípios estudados (VENCOVSKY; BARRIGA, 1992), pois não se pode, nessas circunstâncias, fazer uma recomendação uniforme para todos os locais sem prejuízo considerável à produção obtida. Daí a importância do estudo da adaptabilidade e estabilidade das linhagens.

TABELA 3. Resumo da análise de variância conjunta dos dados de produtividade de grãos (kg ha^{-1}) de cinco linhagens e duas cultivares nos anos agrícolas 2010/11, 2011/12 e 2012/13 em sete ambientes

| FONTE DE VARIAÇÃO | GRAUS DE LIBERDADE | QUADRADOS MÉDIOS |
|-------------------|--------------------|---------------------------|
| Blocos/Ambiente | 14 | 520007,43 |
| Genótipos (G) | 6 | 2281360,17 ^{ns} |
| Ambiente (A) | 6 | 12763101,60 ^{ns} |
| G x A | 36 | 1190862,76 ^{**} |
| Erro | 84 | 192021,78 |
| Média | | 2739,26 |
| CV (%) | | 15,99 |
| h^2 (%) | | 47,80 |

^{**} Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F/ CV (%): coeficiente de variação.
 h^2 : coeficiente de determinação genotípico.

A média de produtividade de grãos foi de $2.739,26 \text{ kg ha}^{-1}$, abaixo da média nacional de Goiás ($2.965,00 \text{ kg ha}^{-1}$) e superior à média nacional da Bahia (2.100 kg ha^{-1}) na safra 2012/13. Ressalta-se a ocorrência de chuvas coincidentes com a colheita, o que pode ter repercutido no baixo nível da produtividade de grãos (CONAB, 2013a). Ainda assim, pode-se observar que dentre os genótipos avaliados há linhagens com potencial para ser selecionadas e indicadas para as regiões em questão.

Conforme a Tabela 3, o coeficiente de variação experimental indicou precisão experimental adequada, pois o CV foi de 15,99%, evidenciando bom controle das causas de variação sistemática dos ambientes. Esse resultado está coerente com a indicação de Carvalho et al. (2013), os quais sugeriram o limite máximo aceitável de 16% para o coeficiente de variação do caráter produtividade de grãos em soja.

Dentre os requisitos mínimos de determinação do Valor de Cultivo e Uso (VCU) para cultivares de soja, a inscrição no Registro Nacional de Cultivares (RNC) considera

aceitável apenas os ensaios cujos coeficientes de variação sejam inferiores a 20% (BRASIL, 2013), confirmando assim a precisão dos resultados deste trabalho. Em gerações avançadas do processo de melhoramento, onde se trabalham com genótipos já fixados (isso possibilita inferência acerca de genótipos) e pré-determinados, o parâmetro herdabilidade (h^2) é denominado de coeficiente de determinação genotípico e fornece a proporção da variância genética presente na variância fenotípica total (RAMALHO; SANTOS; ZIMMERMANN, 1993).

Neste estudo, o h^2 foi de 47,80% (Tabela 3), valor menor que o estimado por Yokomizo e Vello (2000): 57,57%. Essa diferença pode ser explicada pela alta influência ambiental na manifestação do caráter, o que é comum em caracteres quantitativos como a produtividade de grãos em soja. Em geral, a produção de grãos apresenta baixa herdabilidade, por ser mais influenciável pelo ambiente, resultando numa diminuição da relação entre a variância genética e fenotípica.

Em Palmeiras de Goiás na safra 2011/12, os genótipos L01V13, L02V13, L03V13, M-SOY6101 e UFUS Guarani apresentaram médias estatisticamente iguais, diferindo apenas das linhagens L04V13 e L05V13. A linhagem L01V13 obteve maior média entre os genótipos: 2.908,00/kg ha⁻¹, ficando acima da média geral dos genótipos: 2739,26 kg ha⁻¹ (Tabela 4).

TABELA 4. Média de produtividade de grãos (kg ha⁻¹) de sete genótipos de soja de ciclo precoce cultivados em sete ambientes de Goiás e da Bahia

| GENÓTIPO | AMBIENTES | | | | | | | MÉDIA |
|--------------|-------------|------------|-----------|------------|--------------|-------------|-------------|---------|
| | P.G1 | P.G2 | UR.1 | UR.2 | GTB. | L.E.M1 | L.E.M2 | |
| L01V13 | 2908,00aBC | 4722,00aA | 1698,00aD | 2487,33aCD | 3282,67aBC | 3746,33abAB | 3310,00abBC | 3164,90 |
| L02V13 | 2399,00abBC | 2805,00bB | 1546,33aC | 2266,67aBC | 2266,67abcBC | 4244,33abA | 1569,33cC | 2442,48 |
| L03V13 | 2249,00abBC | 3028,00bB | 1878,33aC | 2787,00aBC | 2113,67bcBC | 4199,00abA | 2423,33bcBC | 2668,38 |
| L04V13 | 1696,00bB | 4617,00aA | 1650,67aB | 2016,67aB | 2284,33abcB | 2137,67cB | 2312,33bcB | 2387,80 |
| L05V13 | 1810,67bCD | 4336,00aA | 1560,67aD | 2649,33aBC | 1731,67cCD | 3445,00abAB | 3211,00abB | 2677,76 |
| M-SOY6101 | 2705,34abAB | 2716,00bAB | 1789,67aB | 2943,33aA | 3149,33adA | 3186,00bcA | 1785,67cB | 2610,76 |
| UFUS Guarani | 2542,00abC | 5250,00aA | 1407,33aD | 2249,67aCD | 2775,33adcC | 4319,67aAB | 4015,00aB | 3222,71 |
| Média | 2330,0 | 3924,86 | 1647,29 | 2485,71 | 2514,81 | 3611,19 | 2660,95 | 2739,26 |

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na horizontal e médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na vertical não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% no teste de Tukey. Ambientes: (P.G1) Palmeiras de Goiás 2011/12; (P.G2) Palmeiras de Goiás 2012/13; (UR.1) Urutaí 2010/11; (UR.2) Urutaí 2011/12; (GTB.) Goiatuba 2011/12; (L.E.M1) Luís Eduardo Magalhães 2011/12; (L.E.M2) Luís Eduardo Magalhães 2012/13.

Em Palmeiras de Goiás na safra 2012/13, os genótipos que mais se destacaram foram: L01V13, L04V13, L05V13 e UFUS Guarani, diferindo dos demais genótipos. Em geral, Palmeiras de Goiás safra 2012/13 favoreceu a maior média de produtividade de grãos (3.924,86 kg ha⁻¹), pois foi superior à média nacional de Goiás na safra

2012/13, cuja produtividade foi de 2.965 kg ha⁻¹ (CONAB, 2013a). Verificou-se ainda que a UFUS Guarani nesse ambiente obteve a maior média de produtividade de grãos: 5.250,00 kg ha⁻¹, acima da média geral e se destacando entre todos os outros genótipos avaliados nos sete ambientes. Resultado inferior foi encontrado por Marques et al. (2011) ao avaliarem sete cultivares de soja em três épocas de semeadura no município de Uberlândia, MG. Observaram os autores que a UFUS Guarani obteve maior produtividade de grão na primeira época (3.125,87 kg ha⁻¹) de semeadura quando comparada com as outras três épocas, mas foi inferior à relatada neste trabalho.

Em Urutaí, nas safras 2010/11 e 2011/12, todos os genótipos apresentaram desempenho similar e baixa produtividade, o que pode ser explicado pela alta incidência de ferrugem, que levou a perdas na produtividade de grãos. Em Goiatuba 2011/12, a média da linhagem L01V13 superou os demais genótipos avaliados, porém não diferiu estatisticamente dos genótipos L02V13 e L04V13 e das testemunhas M-SOY6101 e UFUS Guarani.

Em Luís Eduardo Magalhães safra 2011/12, a testemunha UFUS Guarani obteve maior média, mas não foi estatisticamente diferente dos genótipos L01V13, L02V13, L03V13 e L05V13 para Luís Eduardo Magalhães safra 2012/13, a testemunha UFUS Guarani obteve maior média, apresentando-se estatisticamente igual às linhagens L01V13 e L05V13.

Ainda na Tabela 4, observa-se que os genótipos L01V13 e L05V13 e a testemunha UFUS Guarani obtiveram desempenho melhor nos ambientes Palmeiras de Goiás safra 2012/13 e Luís Eduardo Magalhães safra 2011/12. Os genótipos L02V13 e L03V13 se diferenciaram de todos os outros genótipos avaliados quando cultivados no ambiente de Luís Eduardo Magalhães safra 2011/12.

O genótipo L04V13, quando cultivado em Palmeiras de Goiás safra 2012/13 — considerado ambiente com alta fertilidade, diferiu significativamente de todos os outros ambientes onde foi cultivado. A cultivar M-SOY6101 não apresentou diferença significativa entre os ambientes, exceto quando cultivada em Urutaí safra 2010/11 e Luís Eduardo Magalhães safra 2012/13.

A produtividade de grãos oscilou de 2.330 kg ha⁻¹ (Palmeiras de Goiás 2011/12) para 3.924,86 kg ha⁻¹ (Palmeiras de Goiás 2012/13) com média geral entre os ambientes de 2.739,26 kg ha⁻¹ (Tabela 4). A maior produtividade foi observada na UFUS Guarani (5.250 kg ha⁻¹) em Palmeiras de Goiás safra 2012/13; porém, apresentou menor produtividade isolada (1.407,33 kg ha⁻¹) em Urutaí safra 2010/11.

Os pares de ambientes Palmeiras de Goiás 2011/12–Goiatuba 2011/12, Palmeiras de Goiás 2012/13–Luís Eduardo Magalhães 2012/13, Urutaí 2010/11–Goiatuba 2011/12, Urutaí 2010/11–Urutaí 2011/12 e Urutaí 2010/11–Luís Eduardo Magalhães 2011/12 apresentaram interação predominantemente do tipo simples; ou seja, parte complexa da interação menor que 50% (Tabela 5), conforme descrito por Cruz et al. (2012). Para a indicação desses genótipos não há dificuldades, pois os melhores genótipos em um ambiente também o são em outros.

TABELA 5. Decomposição da interação G x A em parte complexa (C) de Cruz e Castoldi (1991) nos ensaios de competição de linhagens de soja de ciclo precoce na Bahia e em Goiás safras 2010/2011, 2011/12 e 2012/13

| AMBIENTES | | C (%) |
|--------------------------------|--------------------------------|--------|
| Palmeiras de Goiás 2011/12 | Palmeiras de Goiás 2012/13 | 79,53 |
| Palmeiras de Goiás 2011/12 | Urutaí 2011/12 | 76,16 |
| Palmeiras de Goiás 2011/12 | Luís Eduardo Magalhães 2011/12 | 52,29 |
| Palmeiras de Goiás 2011/12 | Urutaí 2010/11 | 56,59 |
| Palmeiras de Goiás 2011/12 | Goiatuba 2011/12 | 32,04 |
| Palmeiras de Goiás 2011/12 | Luís Eduardo Magalhães 2012/13 | 75,46 |
| Palmeiras de Goiás 2012/13 | Urutaí 2010/11 | 50,29 |
| Palmeiras de Goiás 2012/13 | Goiatuba 2011/12 | 78,53 |
| Palmeiras de Goiás 2012/13 | Luís Eduardo Magalhães 2012/13 | 33,52 |
| Palmeiras de Goiás 2012/13 | Urutaí 2011/12 | 84,32 |
| Palmeiras de Goiás 2012/13 | Luís Eduardo Magalhães 2011/12 | 103,64 |
| Urutaí 2010/11 | Goiatuba 2011/12 | 45,44 |
| Urutaí 2010/11 | Luís Eduardo Magalhães 2012/13 | 53,95 |
| Urutaí 2010/11 | Urutaí 2011/12 | 34,75 |
| Urutaí 2010/11 | Luís Eduardo Magalhães 2011/12 | 47,35 |
| Urutaí 2011/12 | Luís Eduardo Magalhães 2011/12 | 58,55 |
| Urutaí 2011/12 | Goiatuba 2011/12 | 79,37 |
| Urutaí 2011/12 | Luís Eduardo Magalhães 2012/13 | 74,52 |
| Goiatuba 2011/12 | Luís Eduardo Magalhães 2011/12 | 93,41 |
| Goiatuba 2011/12 | Luís Eduardo Magalhães 2012/13 | 85,37 |
| Luís Eduardo Magalhães 2011/12 | Luís Eduardo Magalhães 2012/13 | 86,03 |

Todos os outros pares de ambientes apresentaram interação do tipo complexa. Isso quer dizer que houve inconsistência na superioridade do cultivar com a variação ambiental, o que dificulta a indicação das cultivares e linhagens estudadas (CRUZ; CASTOLDI, 1991; VENCOVSKY; BARRIGA, 1992) e impossibilita a recomendação uniforme de determinado cultivar para todos os ambientes avaliados. Ao avaliarem 30 genótipos de soja em seis ambientes, Barros et al. (2008) encontraram interação simples para dois pares de ambientes e interação complexa para o restante dos pares de ambientes. Resultado semelhante foi verificado, também, por Barros et al. em 2009, quando constataram interação complexa para a produtividade de grãos em soja em estudos realizados com 29 genótipos em seis ambientes. Em estudo com 11 cultivares

em oito ambientes no Tocantins, Carvalho et al. (2013) relataram interação do tipo complexa entre todos os pares de ambientes analisados.

A estimativa da decomposição da interação G x A (Tabela 5) para um par de ambientes apresentou-se superior a 100%, o que pode ocorrer em situações cuja correlação entre ambientes é negativa (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012). Resultado semelhante foi obtido por Pelúzio et al. (2008), que, ao avaliarem 20 cultivares de soja em quatro épocas de semeaduras na região de Gurupi, TO, obtiveram valor acima de 100% para um par de ambiente.

Na Tabela 6 encontram-se as médias de produtividade de grãos (kg ha^{-1}), os coeficiente de regressão, a variância dos desvios da regressão e os coeficientes de determinação de cada genótipo estudado, encontrados pelo método Eberhart e Russel (1966). Conforme os autores, o genótipo ideal é aquele que tem alta produtividade média (β_0), β_{1i} igual a 1 e desvios de regressão não significativos.

As linhagens L01V13 e L05V13 apresentaram produtividade alta de grãos com β_{1i} igual à unidade (Tabela 6). Assim, podem ser classificadas como de ampla adaptação. Além disso, essas duas linhagens foram de alta previsibilidade de comportamento, pois seus desvios de regressão foram não significativos, enquanto os coeficientes de determinação foram superiores a 80% (Tabela 6).

A cultivar M-SOY6101 apresentou β_{1i} menor que a unidade ($\beta_{1i} < 1$), o que demonstrou adaptação a ambientes desfavoráveis. Entretanto, deve-se considerar que o coeficiente de determinação foi de magnitude baixa, inferior a 70%; o que prejudica a interpretação de uma análise embasada na regressão.

TABELA 6. Média da produtividade de grãos (kg ha^{-1}) e estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade pelos métodos de Eberhart e Russel (1966) e Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998) em sete genótipos de soja cultivados em sete ambientes

| GENÓTIPOS | EBERHART e RUSSEL (1966) | | | | LIN e BINNS (1988) MODIFICADO POR CARNEIRO (1998) | | |
|--------------|--------------------------|--------------------|-------------------------|-------|---|-------------------------|----------------------------|
| | β_0 | β_{1i} | σ_{di}^2 | R^2 | Pi_{geral} | $Pi_{\text{favorável}}$ | $Pi_{\text{desfavorável}}$ |
| L01V13 | 3164,90 | 1,15 ^{ns} | 66158,29 ^{ns} | 88,11 | 96069,72 | 151873,75 | 73748,11 |
| L02V13 | 2442,48 | 0,86 ^{ns} | 393355,87** | 54,33 | 987458,85 | 1495925,02 | 784072,38 |
| L03V13 | 2668,38 | 0,80 ^{ns} | 202810,21 ^{ns} | 63,49 | 665032,08 | 1237941,00 | 435868,51 |
| L04V13 | 2387,81 | 0,99 ^{ns} | 452456,29** | 58,40 | 816931,64 | 1290452,98 | 627523,10 |
| L05V13 | 2677,76 | 1,20 ^{ns} | 183893,47 ^{ns} | 80,98 | 431710,25 | 400109,37 | 444350,61 |
| M-SOY6101 | 2610,76 | 0,37** | 258286,09* | 23,50 | 910214,03 | 1926588,94 | 503664,07 |
| UFUS Guarani | 3222,71 | 1,62** | 192282,72* | 88,19 | 78168,39 | 0,00 | 109435,75 |

**,*: significativo ao nível de 1% e 5% de probabilidade pelo teste t e teste F, respectivamente.
^{ns}: não significativo.

Esse resultado corrobora os resultados obtidos por Polizel et al. (2013), que observaram o valor de R^2 inferior a 70% com o método de Eberhart e Russel (1966) ao avaliarem a adaptabilidade e estabilidade de 16 linhagens de soja, também desenvolvidas pelo Programa de Melhoramento de Soja da UFU, com 4 testemunhas, entre as quais a cultivar M-Soy 6101. A cultivar UFUS Guarani apresentou boa capacidade de resposta ao se introduzirem melhorias no ambiente, adaptando-se a ambientes favoráveis porque apresentou coeficiente de regressão superior à unidade e elevada média de produtividade de grãos. Contudo, essa cultivar teve baixa previsibilidade dado o desvio de regressão significativo. Ainda assim, o coeficiente de determinação foi de magnitude alta.

O desempenho produtivo da cultivar UFUS Guarani está coerente com os resultados de Polizel et al. (2013), em estudo de desempenho agrônomico de genótipos de soja de ciclo precoce em Mato Grosso. Dias et al. (2009), ao avaliarem sete cultivares, encontraram resultados semelhantes para BRS Juçara, que apresentou um coeficiente de regressão superior à unidade, demonstrando adaptabilidade específica a ambientes favoráveis.

A Tabela 6 ainda apresenta os valores de médias de produtividade P_i geral, P_i favorável e P_i desfavorável dos genótipos de soja nas quatro regiões avaliadas nas safras 2010/11, 2011/12 e 2012/13. Pode-se verificar que a testemunha UFUS Guarani e as linhagens L01V13 e L05V13 apresentaram as médias mais elevadas de produtividade e estabilidade em ambiente geral; ou seja, apresentaram os menores valores de P_i geral.

O resultado obtido pela metodologia Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998) concorda parcialmente com os resultados de Eberhart e Russel (1966), pois as linhagens L01V13 e L05V13 foram também classificadas de ampla adaptação. Resultado semelhante foi encontrado por Marques et al. (2011) ao avaliarem a produtividade de grãos de sete cultivares: houve concordância entre os métodos Eberhart e Russel (1966) e Lins e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998) para a cultivar UFUS Xavante.

A testemunha UFUS Guarani e as linhagens L01V13 e L05V13 obtiveram desempenho melhor em ambiente favorável, indicando ser genótipos mais responsivos a esse tipo de ambiente; ou seja, que têm menor valor de P_i . Quanto a ambientes desfavoráveis, as melhores linhagens foram L01V13 e L03V13 e a testemunha UFUS Guarani, indicando serem genótipos mais adaptados a esse ambiente. Ao se comparar a classificação fenotípica dos genótipos obtida pela metodologia de Lin e Binns (1988)

modificada por Carneiro (1998) e Eberhart e Russel (1966), observou-se concordância na classificação da cultivar UFUS Guarani adaptada a ambiente favorável.

Para interpretar a análise AMMI em estudos de adaptabilidade e estabilidade por meio da análise AMMI₂, é recomendado que os dois primeiros componentes principais apresentem valores acima de 70% de explicação acumulada, pois se sabe que estes captam a maior parte da variação, com diminuição nos componentes subsequentes, conforme sugerido por Ramalho et al. (2012). Desse modo, à medida que se eleva o número de componentes principais selecionados, aumenta-se a porcentagem de ruído e reduz-se o poder de predição da análise (OLIVEIRA et al., 2003).

De acordo com a decomposição da interação G x A pela metodologia AMMI, pode-se observar, na Tabela 7, que todos os componentes principais foram significativos, com $p < 0,01$ e $p < 0,05$; exceto o CP6, significativo apenas com $p < 0,05$. Sousa (2013) observou resultado semelhante ao realizar estudos para indicar cultivares estáveis e adaptadas em cinco municípios de Mato Grosso usando genótipos de ciclo precoce desenvolvidos pelo programa de melhoramento de soja da UFU. A interpretação gráfica da estabilidade foi realizada considerando apenas o *biplot* com o modelo AMMI₂, pois este atendeu ao recomendado nos dois primeiros componentes principais (CP1 e CP2), resultando em 76,08% de explicação acumulada (Tabela 7). O procedimento foi similar ao ser realizado em outros estudos de adaptabilidade e estabilidade fenotípica em soja (VICENTE, 2004; ASFAW et al., 2009; MARTINS; JULIATTI, 2012; SOUSA, 2013).

TABELA 7. Proporção da SQ_{gxa} da interação para cada eixo principal da análise AMMI para sete ambientes e sete genótipos

| COMPONENTE PRINCIPAL | EXPLICAÇÃO (%) | EXPLICAÇÃO ACUMULADA (%) |
|----------------------|----------------|--------------------------|
| CP1** | 58,24 | 58,24 |
| CP2** | 17,84 | 76,08 |
| CP3** | 16,28 | 92,37 |
| CP4** | 5,31 | 97,67 |
| CP5** | 2,20 | 99,88 |
| CP6* | 0,12 | 100,0 |

* Significativo pelo teste F a 0,05 de significância

** Significativo pelo teste F a 0,01

Componente principal = eixo principal

A interpretação da estabilidade pelo modelo AMMI foi realizada conforme a distância dos pontos representativos das populações e ambientes ao escore zero. Assim, os pontos que pouco contribuem para a interação representam menor distância,

indicando maior estabilidade. A adaptabilidade das populações em cada local de cultivo é interpretada observando-se os sinais dos escores para populações e ambientes, pois populações e locais com escores de mesmo sinal interagem positivamente. Tais genótipos podem ser recomendados amplamente desde que tenham médias elevadas (DUARTE; VENCOVSKY, 1999).

Desse modo, na Figura 1 verifica-se que o genótipo L05V13 foi mais estável, seguido do genótipo L04V13. Tomaram-se, como linha de corte, os valores de CP2 de -15 e +15. Segundo Polizel et al. (2013), a detecção de genótipos estáveis também é fator de importância extrema na prática de um melhorista; a análise AMMI pode vir como uma ferramenta estatística auxiliadora nos programas de melhoramento e interpretações de resultados dos ensaios.

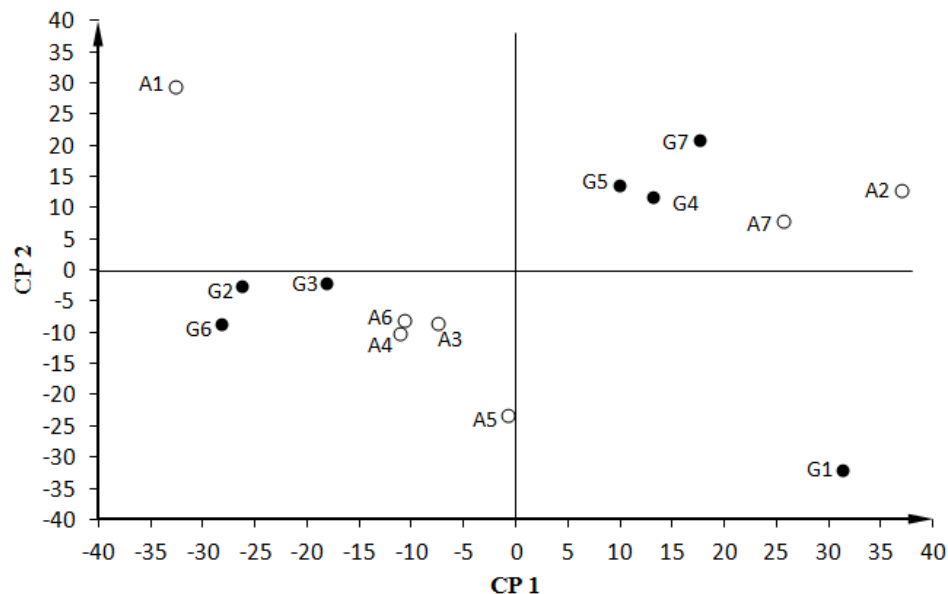


FIGURA 1. “Plotagem” dos escores dos dois primeiros componentes principais quanto à estratificação ambiental segundo o modelo AMMI2 para o caráter produtividade de grãos para sete genótipos de soja de ciclo precoce: G1 (L01V13), G2 (L02V13), G3 (L03V13), G4 (L04V13), G5 (L05V13), G6 (M-SOY6101) e G7(UFUS Guarani); em sete ambientes: A1 (Palmeiras de Goiás – 2011/2012), A2 (Palmeiras de Goiás – 2012/2013), A3 (Urutaí – 2010/2011), A4 (Urutaí – 2011/2012), A5 (Goiatuba – 2011/2012), A6 (Luís Eduardo Magalhães – 2011/2012), A7 (Luís Eduardo Magalhães – 2012/2013); CP1: componente principal 1 e CP2: componente principal 2

Por outro lado, os genótipos L01V13 e L02V13 e as cultivares M-SOY-6101 e UFUS Guarani foram os mais instáveis (baixa estabilidade); logo, foram os genótipos

que mais contribuíram para a interação G x A. No geral, os genótipos mais estáveis, comparados com os demais avaliados, contribuíram menos para a interação G x A— e apresentaram produtividade menor que dos demais. Os genótipos mais instáveis, que contribuíram mais para a interação G x A, apresentaram produtividade maior. Assim, o que se busca é selecionar genótipos estáveis que apresentem alto rendimento. Nesse caso, o genótipo mais estável L05V13 apresentou produtividade média de grãos de 2.677,76 kg ha⁻¹ (Tabela 4), 2,2% inferior à média geral dos genótipos em todos os ambientes; porém, considerada satisfatória, pois apresenta superioridade à média nacional da Bahia: 2.100 kg ha⁻¹ (CONAB, 2013a).

Os genótipos L01V13 e UFUS Guarani, classificados como de alta instabilidade, apresentaram média de produtividade de 3.164,90 e 3.222,71 kg ha⁻¹, respectivamente, acima da média de Goiás (Tabela 4). Esses resultados foram encontrados, também, por Amira et al. (2013). Ao avaliarem seis genótipos de soja, observaram que os mais instáveis apresentaram produtividade maior de grãos.

O ambiente que menos contribuiu para a interação G x A — o mais estável, portanto — foi Urutaí 2010/11. Em contrapartida, Palmeiras de Goiás na safra 2011/12, Palmeiras de Goiás na safra 2012/13 e Goiatuba na safra 2011/12 foram os que mais contribuíram para a interação. Os ambientes mostraram ser suficientemente distintos entre si quanto à interação G x A.

A análise AMMI₂ possibilita identificar os genótipos com adaptações específicas ao se considerar a maior proximidade dos pontos referentes aos genótipos e ambientes. Os genótipos L05V13 e L04V13 e a cultivar UFUS Guarani, caracterizada pelo seu alto potencial produtivo, foram mais adaptados e estáveis em Luís Eduardo Magalhães 2012/2013, onde se emprega alta tecnologia e se cultiva 1,1 milhão de hectares de soja, resultando é uma produção de 2,8 milhões de toneladas (CONAB, 2013a); daí ser considerado um ambiente muito favorável à produção do grão.

Os genótipos L03V13 e L02V13 e a cultivar M-SOY6101, que apresentou produtividade média acima da média, na Bahia, adaptaram-se mais a Luís Eduardo Magalhães na safra 2011/12 e ao ambiente Urutaí na safra 2011/12, onde a temperatura é favorável ao cultivo de soja (Figura 1).

Pode-se observar que a análise AMMI se correlacionou com a metodologia de Eberhart e Russel ao se classificar o genótipo L05V13 como de alta estabilidade.

CONCLUSÕES

A interação genótipos por ambientes para o caráter produtividade de grãos avaliada em sete genótipos e sete ambientes foi, predominantemente, de natureza complexa.

As linhagens L01V13 e L05V13 apresentaram ampla adaptação pelos métodos Eberhart e Russel (1966) e Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998) e alta estabilidade pelo método AMMI.

A linhagem L05V13 foi a que se destacou, com desempenho produtivo maior, adaptação ampla e estabilidade alta, por isso seria uma boa opção para ser selecionada e lançada como cultivar para os ambientes estudados.

REFERÊNCIAS

- ALLARD, R.W.; BRADSHAW, A.D. Implications of genotype–environmental interactions in applied plant breeding. **Crop Science**, Madison, v.4, n. 5, p. 503–8, 1964.
- ALMEIDA, L.A; KIHIL, R.A.S. Melhoramento da soja no Brasil — desafios e perspectivas. In: CÂMARA, G.M. **Soja: tecnologia de produção**. Piracicaba: 1998, p. 40–54.
- AMIRA, J.O. et al. Relative discriminating powers of GGE and AMMI models in the selection of tropical soybean genotypes. **African Crop Science Journal**, [s. l.], v.21, p. 67–73, 2013.
- ASFAW, A. et al. AMMI and SREG GGE biplot analysis for matching varieties onto soybean production environments in Ethiopia. **Scientific Research and Essay**, Nigéria, v.4, n.11, p. 1.322–30, 2009.
- BARROS, H. B. et al. 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.
- BARROS, H.B. et al. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de soja, no estado do Mato Grosso. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 25, n. 3, p. 119–28, maio/jun. 2009.
- BARROS, H.B. et al. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de soja avaliados no estado do Mato Grosso. **Ceres**, Viçosa: ed. UFV, v. 57, n. 3, p. 359–66, 2010.
- BASFORD, K.E.; COOPER, M. Genotype x environment interactions and some considerations of their implications for wheat breeding in Australia. **Australian Journal of Agricultural Research**, Collingwood, v.49, n.2, p. 153–174, 1998.
- BORÉM, A. (Ed.) **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa: ed. UFV, 1999,
- BORÉM, A.; MIRANDA, G.V. **Melhoramento de plantas**. 6. ed. Viçosa: ed. UFV, 2013, 523p.
- BORÉM, A. Escape gênico. **Biotechnology, ciência e desenvolvimento**. Encarte Especial. 1999. Disponível em: <www.biotechnology.com.br/revista/bio10/escape.pdf> Acesso em: 11 nov. 2013.
- BOS, I.; CALIGARI, P. **Selection methods in plant breeding**. London: Chapman e Hall, 1997, 347p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. **Anexo VI**. Requisitos mínimos para determinação do valor de cultivo e uso de soja (*Glycine max L.*), para a inscrição no registro nacional de cultivares – RNC. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/registros-autorizacoes/registro/registro-nacional-cultivares/formularios-registro-cultivares-requisitos>>. Acesso em: 20 dez. 2013.

CARVALHO, E.V. et al. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de soja em Tocantins. **Agro@ambiente on-line**, Boa Vista, v.7, n.2, p. 162–9, maio/ago. 2013.

CARNEIRO, P. C. S. **Novas metodologias de análise da adaptabilidade e estabilidade de comportamento**. 1998. 168f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) — Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1998.

CHAVES, L. J. Interação de cultivares com ambientes. In: NASS, L. L. et al. **Recursos genéticos e melhoramento: plantas**. Rondonópolis: Fundação MT, 2001, p. 673–713.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO/CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos** — nono levantamento. Brasília: CONAB, junho de 2013, 31p. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_06_06_09_09_27_boletim_graos_-_junho_2013.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2013a.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO/CONAB. **Estudos de prospecção de mercado safra 2012/13**. Brasília: CONAB, setembro de 2013, 148p. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 13 nov. 2013b.

COMSTOCK, R.E.; MOLL, R.H. Genotype-environment interactions. In: HANSON, W.D.; ROBINSON, H.F. (Ed.) **Statistical genetics and plant breeding**. Washington: National Academy of Sciences, 1963, p. 164–96.

CORREIA, W. R. **Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de soja em Minas Gerais**. 2007. 25f. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) — Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2007.

COSTA, J.A. **Cultura da soja**. Porto Alegre: Evangraf, 1996, 223p.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: ed. UFV, v.1, 2012, 514p.

CRUZ, C.D. **Programa Genes: diversidade genética**. Viçosa: ed. UFV, 2006, 278p.

CRUZ C. D.; CASTOLDI F. L. Decomposição da interação genótipo x ambiente em parte simples e complexa. **Ceres**, Viçosa: ed. UFV, v.38, n.219, p. 422–30, 1991.

DAHER, R.F. et al. Estabilidade da produção forrageira em clones de capim-elefante (*Pennisetum purpureum Schum.*). **Ciência Agrotecnologia**. Lavras, v.27, n.4, p. 788–97, 2003.

DIAS, F.T.C.; PITOMBEIRA, J.B.; TEÓFILO, E.M; BARBOSA, F.S. Adaptabilidade e estabilidade fenotípica para o caráter rendimento de grãos em cultivares de soja para o Estado do Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza: ed. UFC, v. 40, n. 1, p.129-134, jan./mar, 2009

DUARTE, J.B.; VENCOVSKY, R. **Interação genótipos x ambientes: uma introdução à análise “AMMI”**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1999, 60p.

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

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA/EMBRAPA. **Tecnologias de produção de soja região central do Brasil 2004**. Londrina: EMBRAPA Soja, 2003. Disponível em: <<http://www.cnpso.embrapa.br>>. Acesso em: 12 nov. 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA/EMBRAPA. Desenvolvimento, mercado e rentabilidade da soja. **Circular Técnico 74**, Londrina, 2010, 19p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA/EMBRAPA. **Tecnologias de produção de soja região central do Brasil 2012 e 2013**. Londrina: EMBRAPA Soja, 2011, 261 p.

FEHR W.R.; CAVINESS C.E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University. Special Report 80, 1977, 12p.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University. Special Report, 80, Iowa Cooperative Extensive Service, Iowa, 12p, 1981.

FERREIRA, D.F. **Programa Estabilidade**, 2002. Disponível em: <<http://www.dex.ufla.br>>. Acesso em: 20 nov. 2013.

FRANCO, P.B.; HAMAWAKI, O.T. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de soja em Goiás no ano 2004/2005. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.25, n.3, p. 51–64, 2009.

GARNER, W.W.; ALLARD, H.A. Effect of relative length of day and night and other factors of the environment on growth and reproduction in plants. **Journal of Agricultural Research**, Washington, v.18, p. 553–606, 1920.

GAUCH, H.G.; ZOBEL, R.W. AMMI analysis of yield trials. In: KANG, M. S.; GAUCH JÚNIOR, H. G. (Ed.). **Genotype-by-environment proved and under what conditions this can be most environment interaction**. Boca Raton: CRC, 1996, p.1–40.

GONÇALVES, E.C.P.; MAURO, A.O.; CARGNELUTTI-FILHO, A. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de soja conduzidos em duas épocas de semeadura, na região de Jaboticabal – SP. **Revista Científica**, Jaboticabal, v.35, n.1, p.61–70, 2007.

HARTLEY, H.O. The use of range in analysis of variance. **Biometrika**, London, v. 37, p. 271–80, 1950.

LAVORANTI, O.J. et al. Modelagem AMMI para estudos de interação em modelos estatísticos de efeitos fixos. **Comunicado técnico n. 124**. Colombo: Embrapa Floresta, 2004, 7p.

LIN, C.S.; BINNS, M.R. A method of analyzing cultivar x location x year experiment: a new stability parameter. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v.76, n.3, p. 425–30, 1988.

MAIA, M. C.C. et al. Adaptabilidade e estabilidade de linhagens experimentais de soja selecionadas para caracteres agronômicos através de método uni-multivariado. **Bragantia**, Campinas, v.65, n.2, p. 215–26, 2006.

MALOSETTI, M.; RIBAUT, J.M.; EEUWIJK, F.A.V. The statistic analysis of multi-environment data: modeling genotype-by-environment interaction and its genetic basis. **Frontiers in physiology**, Lausanne, v.4, n.1, p.1–17, 2013.

MANDEL, J. A new analysis of variance model for non-additive data. **Technometrics**, v, 13, n.1, p. 1–18, 1971.

MARQUES, M. C. et al. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de soja em diferentes épocas de semeadura. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 27, n. 1, p. 59–69, jan./fev. 2011.

MARTINS, J.A.S.; JULIATTI, F.C. Adaptability and stability of soybean advanced lines of semi early cycle for rust resistance. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v.12, 2012, 4351 p. DOI: 10.1590/S1984-70332012000100006.

MEOTTI, G.V.; BENIN, B.; SILVA, R.R.; BECHE, E.; MUNARO, L.B. Épocas de semeadura e desempenho agronômico de cultivares de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.47, p. 14–21, 2012. DOI: 10.1590/S0100-204X2012000100003.

MIRANDA, F. T. S. **Métodos de regressão e uni-multivariado para a redução do número de repetições em experimentos intermediários de um programa de melhoramento de soja**. Piracicaba. 2005. 110f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) — Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

MIYASAKA, S. **Contribuição para o melhoramento da soja no Estado de São Paulo**. 1958. 47 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) — Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1958.

MÜLLER, L. Taxionomia e morfologia. In: MIYASAKA, S.; MEDINA, J.C. (Ed.). **A soja no Brasil**. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 1981, p. 65–104.

NETO, M.O.V. et al. Lei de proteção de cultivares. In: BORÉM, A. (Ed.). **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa: UFV, 2005, p. 931–960.

NOGUEIRA, A.P.O. et al. Novas características para diferenciação de cultivares de soja pela análise discriminante. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.9, p. 2.427–33, dez. 2008.

NOGUEIRA, A.P.O. et al. Morfologia, crescimento e desenvolvimento. In: SEDIYAMA, T. (Ed.). **Tecnologias de produção e usos da soja**. Londrina: Mecenas, 2009, p. 7–16.

- NOGUEIRA, A.P.O. et al. Estádios de desenvolvimento. In: SEDIYAMA, T. (Ed). **Tecnologias de produção de sementes de soja**. Londrina: Mecenas, 2013, p. 15–44.
- OLIVEIRA, A. B.; DUARTE, J. B.; PINHEIRO, J.B. Emprego da Análise AMMI na avaliação da estabilidade produtiva em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, p.357–64, 2003.
- OLIVEIRA, L.G. et al. Adaptabilidade e estabilidade da produtividade de soja em duas regiões sojícolas. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.28, n.6, p. 852–61, 2012.
- PACHECO, R.M. et al. Zoneamento e adaptação produtiva de genótipos de soja de ciclo médio de maturação para Goiás. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.33, n.1, p. 23–7, 2003.
- PALUDZYSZYN FILHO, E.; KIIHL, R. A. S.; ALMEIDA, L. A. Desenvolvimento de cultivares de soja na região Norte e Nordeste do Brasil. In: ARANTES, N. E.; SOUZA, P. I. M. (Ed.). **Cultura da soja nos cerrados**. Piracicaba: Potafos, p. 255–66, 1993.
- PELÚZIO, J.M. et al. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de soja em várzea irrigada no Tocantins. **Rev. Ciênc. Agron.**, Fortaleza, v.41, n.3, p. 427–34, jul./set. 2010.
- PELÚZIO, J.M. et al. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de soja em quatro épocas de semeadura no sul do Estado do Tocantins. **Ceres**, Viçosa: ed. UFV, v.55, n.1, p. 34–40, 2008.
- POLIZEL, A. C. et al. Adaptabilidade e estabilidade fenotípica de genótipos de soja no estado do Mato Grosso. **Biosci. J.**, Uberlândia, v.29, n.4, p. 910–20, jul./ago. 2013.
- PRADO, E.E. et al. 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. 625–35, 2001.
- RAMALHO, M. P.; SANTOS, J. B. ZIMMERMANN, M. J. Interação dos genótipos por ambientes. In: RAMALHO, M. P.; SANTOS, J. B.; ZIMMERMANN, M. J. **Genética quantitativa em plantas autógamas: aplicações ao melhoramento de plantas do feijoeiro**. Goiânia: ed. UFG, p. 137–70, 1993.
- RAMALHO, M.A.P. et al. **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas**. Lavras: ed. UFLA, 2012, 522p.
- RIBEIRO, A. C. et al.. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Belo Horizonte: SBCS, 1999, 359p.
- ROCHA, M.M.; VELLO, A.N. Interação genótipos e locais para rendimento de grãos de linhagens de soja com diferentes ciclos de maturação. **Bragantia**, Campinas, v. 58, n. 1, 1999. Disponível em:
<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0006-87051999000100009&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 7 maio 2014.

SEDIYAMA, T. et al. Taxa de hibridação natural em soja, em Viçosa e em Capinópolis, Minas Gerais. **Ceres**, Viçosa: ed. UFV, v. 17, p. 229–331, 1970.

SEDIYAMA, T., PEREIRA, M.G.; SEDIYAMA, C.S. **Cultura da soja**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1985. 95p. (Boletim, 212).

SEDIYAMA, T.; TEIXEIRA, R.C.; REIS, M.S. Melhoramento as Soja. In: BORÉM, A. (Ed.). **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa: ed. UFV, 1999, p. 488–533.

SEDIYAMA, T.; TEIXEIRA, R. C.; REIS, M.S. Melhoramento de Soja. In: BORÉM, A. (Ed.). **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa: ed. UFV, 2005, p. 553–604.

SEDIYAMA, T. **Tecnologia de produção de sementes de soja**. Londrina: Mecenaz, 2013, 352p.

SEDIYAMA, T. et al. Descritores de cultivares. In: SEDIYAMA, T. (Ed.). **Tecnologia de produção de sementes de soja**. Londrina: Mecenaz, p. 163–80, 2013a,

SEDIYAMA, T.; OLIVEIRA, R.C.T.; NOGUEIRA, A.P.O. Importância econômica da semente. In: SEDIYAMA, T. (Org.). **Tecnologia de produção de sementes de soja**. Londrina: Mecenaz, 2013b, p. 11–14.

SILVA, W. J.; DUARTE, J. B. Métodos estatísticos para estudo de adaptabilidade e estabilidade fenotípica em soja. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v.41, n.1, p. 23–30, jan. 2006.

SOUSA, L. B. **Melhoramento genético de soja: diversidade fenotípica e molecular, correlações entre caracteres e adaptabilidade e estabilidade por métodos multivariados**. 2013. 139p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) — Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2013.

VAN SCHAİK, P. H.; PROBST, A. H. Effects of some environmental factors on flower production and reproductive efficiency in soybeans. **Agronomy Journal**, Madison, v.50, p. 192–7, 1958.

VARELA, C.A.A. **Análise de componentes principais**. Apostilas didáticas. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2008, 12p.

VENCOVSKY R; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992, 496p.

VERNETTI, F.J. **Soja, planta, clima, pragas, moléstias e invasoras**. V. I, genética e melhoramento. Campinas: Fundação Cargill, 1983.

VICENTE, D.; PINTO, R.J.B.; SCAPIM, C.A. Análise da adaptabilidade e estabilidade de linhagens elite de soja. **Acta Scientiarum: Agronomy**, Maringá, v.26, n.3, p. 301–7, 2004.

WARNER, J. N. A Method for estimating heritability. **Agronomy Journal**, Madison, v.44, p. 427–30, 1952.

XIE, C.; MOSJIDIS, J. A. Selection of stable cultivars using phenotypic variances. **Crop Science**, Madison, v.36, n.5, p. 572–6, 1996.

XU, B. et al. Three new evidences of the original area of soybean. 1989. In: CONFERENCIA MUNDIAL DE INVESTIGACIÓN EM SOJA, 4., 1989, Buenos Aires. **Actas Buenos Aires**, Buenos Aires, t.1, p. 124–8, 1989.

YOKOMIZO, G. K.; VELLO, N. A. Coeficiente de determinação genotípica e de diversidade genética em topocruzamentos de soja tipo alimento com tipo grão. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v.35, n.11, p. 2.223–8, nov. 2000.

ZOBEL, R.W.; WRIGHT, M.J.; GAUCH, H.G. Statistical analysis of a yield trial. **Agronomy Journal**, Madison, v.80, p.388–93, 1988.