

ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE LINHAGENS DE SOJA NO ESTADO DO PARANÁ POR MEIO DA METODOLOGIA PROPOSTA POR LIN E BINNS

Juliana Parisotto Poletine¹; Felipe Ricardo Schmidt¹; Silene Tais Brondani¹; Marco Antônio Aparecido Barelli²; Valvenarg Pereira da Silva²

¹Universidade Estadual de Maringá – UEM, Departamento de Ciências Agrônômicas, Campus de Umuarama. Estrada da Paca s/n, CEP: 87500-000, Bairro São Cristóvão, Umuarama, PR. E-mail: jppoletine@uem.br; hot_felipe@hotmail.com; silenetais@outlook.com;

²Universidade do Estado de Mato Grosso - UNEMAT, Faculdade de Ciências Agro-Ambientais, Av. São João, s/nº, CEP 78200-000 Cáceres, MT. E-mail: mbarelli@unemat.br; silvabiologo@hotmail.com

RESUMO: O presente trabalho teve como objetivo reunir trabalhos publicados e avaliar a adaptabilidade e estabilidade de 18 linhagens experimentais de soja do Programa de Melhoramento genético Integrado - Campo Mourão, e três referências comerciais em duas diferentes regiões, por meio da metodologia proposta por Lin e Binns (1988). Os tratamentos foram dispostos no delineamento em blocos casualizados com três repetições, contendo 21 genótipos, nos anos agrícolas de 2014/15 e 2015/16, nos municípios de Campo Mourão e Floresta, no estado do Paraná. A característica avaliada foi a produtividade de grãos. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância para verificar a homogeneidade dos mesmos. Posteriormente realizou-se a análise de estabilidade e adaptabilidade fenotípica utilizando-se do método proposto por Lin e Binns (1988) e também a variação proposta por Carneiro (1998). As metodologias utilizadas foram eficientes para estimar a adaptabilidade e estabilidade fenotípica dos genótipos estudados. A linhagem AG1713 foi indicada como superior em todos os ambientes por apresentar os melhores valores preditivos à média de adaptabilidade e estabilidade. Já as linhagens 7/S82-034, AB1167 e 7/N50-040 foram indicadas para locais considerados desfavoráveis. Após a leitura e análise dos artigos publicados em periódicos especializados, e em função dos resultados obtidos, considera-se que a metodologia clássica é eficiente para estimar a adaptabilidade e estabilidade, bem como a interação G x A de genótipos de soja. Existe tendência à substituição desta metodologia clássica para a modelagem mista.

PALAVRAS-CHAVE: *Glycine max.* (L.) Merrill, interação genótipos x ambientes, produtividade de grãos.

ADAPTABILITY AND STABILITY OF SOYBEAN LINEAGES IN PARANA STATE BY METHODOLOGY PROPOSED BY LIN AND BINNS

ABSTRACT: The present work had as objective to gather published papers and to evaluate adaptability and stability of 18 soybean experimental lineages from breeding program belonging to Integrado - Campo Mourão and three commercial references in two different regions, through methodology proposed by Lin and Binns (1988). Treatments were arranged in randomized blocks design with three repetitions, containing 21 genotypes, in 2014/15 and 2015/16 agricultural years, in Campo Mourão and Floresta Counties, Parana State. The characteristic evaluated was grain yield. Obtained data were submitted to variance analysis in order to check its homogeneity. Subsequently, stability and adaptability phenotypic analysis were conducted by using the method proposed by Lin and Binns (1988) and also the variation proposed by Carneiro (1998). The methodologies used were efficient to estimate the adaptability and phenotypic stability of studied genotypes. AG1713 line was indicated as superior in all environments, showing the best predictive values in relation to adaptability

and stability mean. 7/S82-034, AB1167 and 7/N50-040 lines were indicated for locations considered unfavorable. After reading and analyzing papers published in specialized journals, and depending on the results obtained, it is considered that the classical methodology is efficient to estimate adaptability and stability, as well as, G x E interaction of soybean genotypes. There is a tendency to replace this classical methodology for mixed modeling.

Key words: *Glycine max.* (L.) Merrill, genotypes x environments interaction, grain yield.

INTRODUÇÃO

A soja tem como centro de origem a China e sua domesticação ocorreu por volta do século XI a.C. No Brasil ela foi introduzida no ano de 1882, no Estado da Bahia, posteriormente difundida para o Estado de São Paulo, no ano de 1891. Mas foi no Rio Grande do Sul que o cultivo em escala comercial teve início, na década de 40 (Rocha e Vello, 1999).

A espécie *Glycine max* (L) Merrill possui grande relevância principalmente por ser umas das principais fontes de proteína e óleo vegetal do mundo (EMBRAPA, 2017). Segundo dados da CONAB (2017) o consumo do mercado interno brasileiro foi equivalente a 47,2 milhões de toneladas da oleaginosa, onde a variada gama de produtos processados a partir da mesma, tem emprego tanto na alimentação humana quanto animal.

O Brasil tem destaque na produção da oleaginosa sendo o segundo maior produtor mundial. Na safra 2016/2017 foram 114 milhões de toneladas, permanecendo inferior apenas aos Estados Unidos, com produção equivalente a 117,2 milhões de toneladas, os quais somados representam 65,7% de toda a produção mundial (Embrapa, 2017).

O melhoramento genético da cultura da soja é um processo contínuo de desenvolvimento de novas cultivares. Os programas de melhoramento são focados em objetivos gerais e específicos e visam à solução das limitações reais ou potenciais das cultivares frente aos fatores bióticos e abióticos que interferem na produção da soja. As hibridações são realizadas para criar variabilidade genética e as populações segregantes são conduzidas por métodos tradicionais de melhoramento de plantas autógamas, permitindo a seleção e a avaliação de genótipos com características agrônômicas desejadas. A criação de novas cultivares têm sido uma das tecnologias que contribuem para aumentos de produtividade e estabilidade de produção, sem custos adicionais ao agricultor. Uma cultivar de soja deve apresentar alta produtividade, estabilidade de produção e ampla adaptabilidade aos mais variados ambientes na região onde é recomendada (Almeida et al., 2011).

O cultivo extensivo da soja, contemplando ambientes diversificados, provoca uma resposta diferencial dos genótipos. Assim, a interação entre genótipos e ambientes (G x A)

representa aspecto relevante no contexto do melhoramento. O entendimento desse fenômeno torna-se imprescindível aos programas de melhoramento em que se buscam minimizar a inconsistência das características relacionadas à produtividade diante da variação ambiental, para recomendações mais acertadas (Duarte e Vencovsky, 1999). A interação significativa também reduz a correlação entre os valores genotípicos e fenotípicos, diminuindo os ganhos genéticos com a seleção e dificultando o trabalho dos melhoristas (Nunes, 2000).

Conforme citam Polizel et al. (2013), a expressão do potencial produtivo da cultura da soja é função dos componentes genético e ambiental e da interação entre ambos. Isso dificulta a seleção e a avaliação do potencial produtivo dos genótipos. Como consequência, é necessário realizar extensiva avaliação para a identificação de genótipos superiores em produtividade e estabilidade de produção, em certa amplitude de ambientes que representem os efeitos limitantes do clima, solo e das pragas e doenças.

A interação G x A trata-se de um componente da variação fenotípica resultante do comportamento diferencial apresentado por cada genótipo, nos caracteres quantitativos em função das variações dos ambientes (Yan e Kang, 2002). Já as análises de adaptabilidade e estabilidade são fundamentais para identificação de cultivares com comportamento previsível, responsivas às variações ambientais em condições específicas e com amplitude (Cruz et al., 2004).

As metodologias para análise de estabilidade e adaptabilidade fenotípica destinam-se à avaliação de um grupo de genótipos testados em vários ambientes, e são de fundamental importância no caso da existência da interação genótipo com ambiente, sendo complementares às análises de variância individual e conjunta, com dados experimentais resultantes de ensaios realizados em uma série de ambientes (Lavoranti, 2003).

Diversos métodos têm sido propostos para investigar a adaptabilidade e a estabilidade fenotípica. A diferença entre eles baseia-se nos próprios conceitos e procedimentos biométricos para medir a interação G x A. Destacam-se os procedimentos baseados na variância da interação G x A (Wricke, 1965); regressão linear simples (Eberhart e Russel, 1966; Perkins e Jinks, 1968) e múltipla (Cruz et al., 1989; Storck e Vencovsky, 1994); regressão quadrática (Brasil e Chaves, 1994); modelos não lineares (Toler e Burrows, 1998; Silva, 1998; Rosse e Vencovsky, 2000) e não paramétricos, como a ordem de classificação genotípica (Hühn, 1996); métodos multivariados, como ACP (Crossa, 1990), análise de agrupamento (Hanson, 1994), análise fatorial de correspondências (Hill, 1974) e análise de coordenadas principais (Westcott, 1987) e métodos que integram a análise comum de

variância (método univariado) com análise de componentes principais (método multivariado), como é o caso da análise AMMI, sugerida por Gauch e Zobel (1996).

Os procedimentos de análise de interação genótipo x ambiente evoluíram da tradicional ANOVA conjunta de experimentos, passando pelos métodos de estudo da estabilidade e adaptabilidade fenotípica baseados em análise de regressão, pelos métodos não paramétricos para estabilidade e adaptabilidade e pelos modelos multiplicativos (AMMI) para os efeitos de interação. Tais procedimentos apresentam limitações para lidar com dados desbalanceados, delineamentos experimentais não ortogonais (blocos incompletos) e com a heterogeneidade de variâncias entre os vários locais de experimentação, situações que são corriqueiras na experimentação de campo. Além do mais, tais metodologias assumem que os efeitos de tratamentos genéticos são fixos, o que é desvantajoso e incoerente com a prática simultânea da estimação de componentes de variância e parâmetros genéticos (herdabilidade) realizada com base nestes experimentos (Resende, 2007).

Com base no exposto, o objetivo deste trabalho foi realizar uma revisão de literatura sobre metodologias relacionadas à adaptabilidade e estabilidade fenotípica da cultura da soja, bem como, avaliar o desempenho de linhagens da espécie, desenvolvidas pelo programa de melhoramento genético vegetal da Empresa Integrado, quanto à produtividade de grãos, utilizando-se a metodologia de Lin e Binns (1988).

ASPECTOS SÓCIOS ECONÔMICOS DA CULTURA DA SOJA

A soja apresenta como centro de origem a China e foi introduzida no Brasil em 1882, no Estado da Bahia; em 1891, em São Paulo; e, no ano de 1914, no Rio Grande do Sul, sendo considerado o marco inicial da produção comercial a década de 1940 (Vernetti, 1983). Nas décadas de 60 a 80, houve um significativo aumento da área plantada. Em 1970, menos de 2% da produção nacional de soja era colhida no Centro-Oeste. Em 1980, esse percentual passou para 20%, em 1990 já era superior a 40% e atualmente ocupa uma área superior a 60% do total (CONAB, 2017).

Atualmente a soja destaca-se com uma importante leguminosa com destaque no cenário mundial em relação à área de cultivo e produção total de grãos. De acordo com dados da USDA (2017) a soja na safra 2016/2017 alcançou uma produção mundial de 351,3 milhões de toneladas em uma área de 120,9 milhões de hectares. Com destaque para a participação dos Estados Unidos da América (EUA), sendo este o maior produtor mundial do grão, com uma produção de 117,2 milhões de toneladas em uma área de 33,4 milhões de hectares,

correspondendo a 33,3% e 27,6% do total respectivamente, com produtividade média de 3.501 kg ha⁻¹.

Segundo dados do CONAB (2017) na safra 2016/17 a área plantada com soja no Brasil foi de 33,91 milhões de ha, sendo a maior em extensão correspondendo a 56% do total da área semeada no país, e com produção de 114 milhões de toneladas, conferindo assim ao país o status de segundo maior produtor mundial do grão e fechando com produtividade média geral de 3.364 kg ha⁻¹.

No estado do Paraná, a soja foi introduzida por agricultores gaúchos que emigraram para o sudoeste e, então, para o oeste do Estado. A produção no Paraná cresceu rapidamente até atingir 60.000 toneladas, na década de 60. Entre as décadas de 60 e 80, houve significativo aumento da área plantada. Atualmente, o estado do Paraná constitui-se no segundo produtor brasileiro de soja, com produção de 14,8 milhões de toneladas, área plantada de, aproximadamente, 5,0 milhões de hectares e produtividade média de 2945 kg ha⁻¹ (CONAB, 2014).

O rendimento tem aumentado significativamente nos últimos anos, não apenas por ganhos obtidos pelo melhoramento genético, mas também pela utilização de tecnologias nas áreas de práticas de manejo da cultura e pela utilização de equipamentos mais apropriados às condições brasileiras (EMBRAPA, 2000).

A soja constitui uma cultura de grande interesse socioeconômico, em função dos teores elevados de proteína (40%) e óleo (20%), e do alto rendimento de grãos. Atualmente, no Brasil, é cultivada em considerável diversidade de ambientes, desde as altas latitudes (Sudeste e Sul) até as baixas latitudes equatorial-tropicais (Centro-Oeste, Nordeste e Norte). Neste sentido, a seleção de genótipos com elevada produtividade e capacidade de adaptação a uma ampla faixa de ambientes é um dos principais objetivos dos programas de melhoramento genético (Sediyama et al., 2005).

O estado do Paraná destaca-se como o terceiro maior em extensão de área cultivada, com 5,2 milhões de hectares, com uma produção de 19,5 milhões de toneladas, conferindo ao estado o status de segundo maior produtor do grão a nível nacional, e com a maior produtividade observada em, sendo de 3.731 kg ha⁻¹, produtividade esta que destoa no cenário nacional, tendo em vista que a média brasileira foi de 3.364 kg ha⁻¹.

CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS E FISIOLÓGICAS DA CULTURA DA SOJA

O germoplasma de soja possui grande diversidade quanto ao ciclo (número de dias da emergência à maturação). De modo geral, as variedades brasileiras variam o ciclo entre 100 a 160 dias, e podem ser classificadas em grupos de maturação que variam em uma escala de zero a dez, onde, quanto mais próximo do valor máximo maior o ciclo total de desenvolvimento, essa classificação ocorre em função da latitude devido às diferenças de fotoperíodo nas variadas faixas de cultivo, onde nas estações da primavera e verão quanto mais próximo à linha do Equador menor a quantidade de horas/luz diárias disponíveis (EMBRAPA, 2000).

O ciclo total da planta pode ser dividido em fases vegetativa e reprodutiva. A fase vegetativa é o período da emergência da plântula até abertura das primeiras flores, e a fase reprodutiva compreende o período da floração plena até a maturação (Borém e Miranda, 2013).

A estatura da planta é altamente dependente das condições ambientais e do genótipo da variedade. No Brasil, variedades comerciais normalmente apresentam estatura média de 60 a 120 cm. Segundo Van Schaik e Probst (1958), o número de flores produzidas é maior do que aquele que a planta pode converter em vagens, sendo que a planta pode emitir 800 flores com uma taxa de fertilização de 13 a 57%, dependendo do genótipo e das condições ambientais. O período total de florescimento pode durar de três a cinco semanas (Vernetti, 1983).

O hábito de crescimento também interfere no porte da planta e, com relação a esta característica, a espécie pode ser classificada em crescimento determinado, indeterminado e semi-determinado. Essa classificação é baseada no tipo de crescimento da haste principal. Genótipos de hábito de crescimento determinado caracterizam-se por apresentar plantas com caules terminando em racemos florais. Por outro lado, plantas com hábito de crescimento indeterminado não apresentam racemos terminais, a planta continua desenvolvendo nós e alongando o caule, de forma que continua seu crescimento até o final da floração. Nos tipos semi-determinados, a semelhança dos indeterminados, o florescimento e o desenvolvimento de novos nós terminam mais abruptamente (Sediyama, et al., 1999).

Nas raízes, tem lugar a simbiose da bactéria *Rhizobium japonicum* com a soja. Por meio do processo simbiótico, as bactérias retiram do ar e fornecem às plantas quantidade de nitrogênio correspondente a uma adubação de cerca de 100 kg ha⁻¹ de N e recebem em troca os hidratos de carbono de que necessitam para cumprirem seus ciclos biológicos. Ao

completar cada fase do desenvolvimento da planta corresponde a maior penetração do sistema radicular no perfil do solo e proliferações de raízes. O peso seco das raízes está concentrado na porção superior do perfil; 90% ou mais nos primeiros 7,5 cm, quando no início do crescimento das plantas, e nos primeiros 15 cm, durante o restante do ciclo (Vermetti, 1983).

A soja é essencialmente uma espécie autógama com flores perfeitas, estando os órgãos masculinos e femininos protegidos dentro da corola. A cor da flor da soja pode ser branca ou púrpura, sendo que a tonalidade de púrpura varia de acordo com a constituição genética da cultivar. Antocianina é o pigmento responsável pela coloração púrpura das pétalas da flor, também sendo encontrada no hipocótilo e, durante o processo de maturação, nas paredes das vagens, pecíolos e haste principal, quando expostos a intensos raios solares (Beard e Knowles, 1971).

A fotossíntese é um dos processos que contribui para o rendimento, sendo a soja uma das espécies cuja fotossíntese é menos eficiente, devido ao sistema fotossintético utilizado ser o C3 que apresenta menor eficiência quando comparado com as espécies que se utilizam do sistema C4. A identificação das diferenças genéticas na fotossíntese líquida é de grande significância para o melhoramento genético da soja. A taxa de assimilação do CO₂ determinada no campo é menor que a taxa verdadeira devido à fotorrespiração (oxidação de hidratos de carbono induzida pela luz, na ausência de qualquer mecanismo acoplador de energia conhecida) e à inibição fotossintética determinada pelo oxigênio (Borém e Miranda, 2013).

Garner e Allard (1920) foram os primeiros pesquisadores a verificarem a importância do comprimento do dia como um dos fatores do ambiente a atuar no processo de indução floral da soja. Chamaram este fenômeno de fotoperiodismo e classificaram a soja como espécie de dias curtos, isto é, induzida a florescer quando o comprimento do dia é menor que determinado nível crítico, específico para cada genótipo. No início da década de 1940, os dados básicos sobre como o período de luz e escuridão que podem ser manipulados para controlar o florescimento da soja tinham sido definido. Passou-se, então, à procura de evidências sobre a existência de um hormônio do florescimento, os mesmos autores relatam que a duração do período de escuridão e não o número de luz determina a indução do florescimento. Isto porque, independente da duração do fotoperíodo, o florescimento ocorreu em plantas submetidas a períodos longos de escuridão, bem como um minuto de luz durante o período de escuridão impediu o florescimento. A soja permanece no estágio vegetativo quase indefinidamente, se os dias forem suficientemente grandes, ou florescem com cerca de 30

dias, se os dias forem curtos. A indução do florescimento se dá nas folhas, a soja pode ser induzida ao florescimento desde o aparecimento das folhas primárias.

A qualidade da luz também tem importância no controle do florescimento, todo espectro visível inibe o florescimento, mas a energia necessária para impedir esse processo é sessenta vezes maior na região do verde do que na região do vermelho. Tanto o infravermelho como o ultravioleta parecem não afetar o processo (Vernetti, 1983).

INTERAÇÃO GENÓTIPO x AMBIENTE (G x A)

O genótipo de uma planta é definido por genes hereditários e a expressão desses genes em um determinado ambiente é denominada fenótipo. A diversidade ambiental seja por latitude, altitude e demais fatores, influenciam na produtividade e outras características que são determinadas por efeitos genéticos, ambientais e da interação entre eles (Hall, 2001). Efeitos ambientais são geralmente notados em caracteres quantitativos, nos quais um grande número de genes controla a expressão, sendo assim, o fenótipo deixa de ser um bom estimador do genótipo (Yan e Kang, 2002).

A interação G x A é um componente da variação fenotípica resultante do comportamento diferencial apresentado pelos genótipos, quando submetidos a mais de um ambiente. A avaliação desta interação torna-se de grande importância no melhoramento, pois, no caso de sua existência, há possibilidades de o melhor genótipo em um ambiente não ser em outro, influenciando o ganho de seleção e dificultando a recomendação de cultivares com ampla adaptabilidade (Cruz et al., 2004).

Devido à presença universal da interação genótipo x ambiente (GxA) de características quantitativas, avaliações genotípicas em, pelo menos, estágios avançados de melhoramento de plantas são executados em ambientes múltiplos em experimentos planejados. Os principais objetivos destes experimentos são comparar a *performance* genotípica em duas interferências básicas – por exemplo: ampla interferência a *performance* geral de um genótipo (através dos ambientes), e ambiente específico ou interferência restrita, a *performance* de um genótipo dentro de um ambiente específico; estimar o componente de interação GxA para calibrar a herdabilidade e seu impacto da seleção, selecionar sites testes e macro ambientes, identificar genótipos especificamente adaptados para ambientes alvos, e estabelecer objetivos de melhoramento genético (Yan e Kang, 2003).

Para a adequada recomendação de genótipos, é necessário a avaliação dos mesmos em diferentes ambientes, que podem ser anos, locais, épocas de semeadura, nível tecnológico, ou

qualquer outro fator que não seja genético e que afete a expressão fenotípica. Por este procedimento, pode-se quantificar a interação dos genótipos nos ambientes e, com isso, indicar as variedades mais adequadas aos variados ecossistemas (Rossmann, 2001).

Ao se avaliar a interação, pode-se chegar a três situações (Ramalho et al., 1993): ausência de interação, interação simples e interação complexa. As duas primeiras não causam problemas para a seleção e a recomendação de cultivares aos agricultores, pois não alteram a classificação das cultivares nos vários ambientes, porém, a terceira, por alterar o ordenamento das cultivares frente aos ambientes avaliados, dificulta sensivelmente esta seleção e recomendação.

Ainda segundo Ramalho et al. (1993), considerando um número maior de ambientes e de cultivares, a presença de interação complexa quase sempre indica a existência de cultivares especificamente adaptadas a ambientes particulares. Isso impede que a recomendação de cultivares possa ser feita de maneira generalizada, sendo necessárias medidas que controlem ou minimizemos efeitos da interação para proceder às recomendações mais seguras. A ocorrência de interação complexa entre as cultivares diminuirá a eficiência dos programas de melhoramento, porque não garante a seleção das melhores cultivares para cada ambiente particular.

Existem três modos de atenuar a interação genótipos x ambientes: identificar cultivares específicas para cada ambiente; realizar o zoneamento ecológico ou estratificação ambiental e identificar cultivares com maior estabilidade fenotípica. Essa última opção é a que tem sido mais utilizada, por poder ser aplicada nas mais variadas situações, requerendo estudos sobre a *performance* genotípica, com base nos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade, pelos quais torna-se possível a identificação de cultivares de comportamento previsível e que sejam responsivos às variações ambientais, em condições específicas ou amplas (Vencovsky e Barriga, 1992; Cruz et al., 2004).

INTERAÇÃO DE GENÓTIPOS x AMBIENTE NA CULTURA DA SOJA

O cultivo extensivo da soja, contemplando ambientes diversificados, provoca uma resposta diferencial dos genótipos. Neste sentido, a interação G x A (interação de genótipo e ambiente) representa aspecto relevante no contexto do melhoramento. Assim sendo, Duarte e Vencovsky (1999) afirmam que o entendimento deste fenômeno torna-se imprescindível aos programas de melhoramento que procuram minimizar a inconsistência das características relacionadas à produtividade frente à variação ambiental, para recomendações mais acertadas.

O comportamento de genótipos pode ser elucidado pelo estudo G x A com sua partição em parâmetros de adaptabilidade (responsividade ao estímulo ambiental) e estabilidade produtiva (previsibilidade de comportamento). Em particular, a estabilidade específica de genótipos a multiambientes possibilita tirar proveito desse efeito estando, via de regra, associado às elevadas produtividades. Pela mesma razão, sob o ponto de vista de recursos genéticos, a exploração dessa interação feita por meio do zoneamento ecológico é interessante para manter a variabilidade genética da espécie, principalmente, porque a soja cultivada possui base genética estreita.

Contudo, para que seja possível tirar proveito desses efeitos positivos, de acordo com Duarte e Zimmerman (1995), é preciso dispor de métodos estatísticos adequados para se estimar e explorar a interação, permitindo assim recomendações regionalizadas.

A soja é cultivada em praticamente todas as regiões do Brasil, as quais apresentam grande diversidade ambiental. Apesar dessa diversidade, a produtividade média obtida nos vários ambientes de teste é o critério de recomendação de cultivares, em programas de melhoramento de soja que buscam selecionar genótipos de adaptação ampla de três grupos de maturação precoce, até 115 dias da emergência à maturação; semiprecoce, de 116 até 125 dias; médio, de 126 até 137 dias; e semitardio, de 138 até 145 dias (EMBRAPA, 2010).

Genótipos de adaptação ampla facilitam o processo de transferência de tecnologia e a logística de produção de sementes. A indicação de uma cultivar, para todas as regiões, desconsidera opções de cultivares com adaptações específicas a um tipo de ambiente, como por exemplo, para a região Norte/Oeste, de clima mais quente, ou para a região Sul, de altitudes maiores e clima mais ameno. A possibilidade de estratificação em sub-regiões com características ambientais semelhantes, para fins de seleção e indicação de genótipos de soja, pode ser verificada a partir de estudos de interações G x A (Allard e Bradshaw, 1964; Ramalho et al., 1993; Alliprandini et al., 1994; Carvalho et al., 2002).

ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE FENOTÍPICA

Estudos a respeito da interação genótipo x ambiente, apesar de serem de grande importância para o melhoramento, não proporcionam informações pormenorizadas sobre o comportamento de cada genótipo frente às variações ambientais (Cruz et al., 2004).

As metodologias para as análises de estabilidade e adaptabilidade fenotípica destinam-se à avaliação de um grupo de genótipos testados em vários ambientes. Tais metodologias são fundamentadas na existência da interação genótipo com ambiente. Assim, esses procedimentos são complementares ao da análise de variância individual e conjunta, com dados experimentais resultantes de ensaios realizados em uma série de ambientes (Lavoranti, 2003).

A escolha de um método de análise depende dos dados experimentais, principalmente os relacionados com o número de ambientes disponíveis, da precisão requerida e do tipo de informação desejada. Deve-se, também, considerar que alguns métodos são alternativos, enquanto outros são complementares, podendo ser utilizados conjuntamente (Cruz et al., 2004).

A manifestação fenotípica para determinada característica é o resultado da ação do genótipo e do meio ambiente. Entretanto, quando se consideram vários ambientes, pode-se detectar um componente adicional, causado pela interação genótipo x ambiente. Sua avaliação é de grande importância no melhoramento genético, pois ela pode indicar que o melhor genótipo em um ambiente não o ser no outro (Cruz e Regazzi, 1994; Cruz e Regazzi, 2001). Esse fato torna difícil recomendar combinações genotípicas favoráveis nas diferentes regiões do país.

Segundo Cruz e Regazzi (2001), estratégias que permitem identificar as combinações genotípicas de comportamento previsível e que respondem positivamente às variações ambientais favoráveis são denominadas, respectivamente, de análises de adaptabilidade e estabilidade.

A interação $G \times A$ é um componente da variação fenotípica resultante do comportamento diferenciado dos genótipos quando repetidos a mais de um ambiente. Sua magnitude na expressão fenotípica do caráter pode reduzir a correlação entre fenótipo e genótipo, inflacionando a variância genética e, por sua vez, parâmetros dependentes desta, como herdabilidade e ganho genético com a seleção. Estudos sobre a adaptabilidade e a estabilidade fenotípica permitem particularizar os efeitos da interação $G \times A$ ao nível de genótipo e ambiente, identificando a contribuição relativa de cada um para a interação total. Inúmeras técnicas estatístico-genéticas têm sido desenvolvidas com o intuito de melhor quantificar este efeito. Entretanto, as posições críticas dos estatísticos, que atuam em programas de melhoramento genético, referem-se à falta de uma análise criteriosa da estrutura da interação $G \times A$. Tradicionalmente, a análise dessa estrutura é superficial, não detalhando os efeitos da complexidade da interação (Duarte e Vencovsky, 1999).

METODOLOGIAS PARA AVALIAR A ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE FENOTÍPICA

As metodologias para as análises de estabilidade e adaptabilidade fenotípica destinam-se à avaliação de um grupo de genótipos testados em vários ambientes. Tais metodologias são

fundamentadas na existência da interação genótipo com ambiente. Assim, esses procedimentos são complementares ao da análise de variância individual e conjunta, com dados experimentais resultantes de ensaios realizados em uma série de ambientes (Lavoranti, 2003).

A escolha de um método de análise depende dos dados experimentais, principalmente os relacionados ao número de ambientes disponíveis, da precisão requerida e do tipo de informação desejada. Deve-se, também, considerar que alguns métodos são alternativos, enquanto outros são complementares, podendo ser utilizados conjuntamente (Cruz et al., 2004).

Diversos métodos têm sido propostos para investigar a adaptabilidade e estabilidade fenotípica. A diferença entre eles origina-se nos próprios conceitos e procedimentos biométricos para medir a interação $G \times A$. Destacam-se os procedimentos baseados na variância da interação $G \times A$ (Shukla, 1972; Magari e Kang, 1997); regressão linear simples (Eberhart e Russell, 1966; Perkins e Jinks, 1968) e múltipla (Silva e Barreto, 1986; Cruz et al., 1989; Storck e Vencovsky, 1994); regressão quadrática (Brasil e Chaves, 1994); modelos não lineares (Silva, 1998; Rosse e Vencovsky, 2000).

Existem várias técnicas para se avaliar a interação genótipo \times ambiente. Entre as mais utilizadas, destacam-se as que procuram relacionar a produção (Y) de um genótipo em função de índices ambientais (X). Teoricamente, demonstra-se que se X e Y são binormais, o valor esperado de Y em função dos esperados valores de X é uma reta, cujo coeficiente angular depende da correlação entre X e Y e dos respectivos desvios padrões (Hogg e Craig, 1965).

Quando um genótipo não possui um comportamento previsível em função dos ambientes ele pode eventualmente ter resposta favorável a ambientes específicos (adaptabilidade preferencial ou específica para determinados ambientes), o que sugere, para este caso, seleção regional ou para locais específicos. Por essas definições, necessariamente os desvios em relação ao modelo proposto (linear ou não) devem ser significativos. Caso contrário (desvios do modelo significativos) há falta de adaptabilidade geral aos ambientes (Sedyama et al., 1999).

O método de Eberhart e Russel (1966), baseado em regressão linear, é um dos métodos mais utilizados para estudar a adaptabilidade e estabilidade dos genótipos. Neste processo, um índice ambiental é calculado através da subtração entre a média do ambiente (média de todos os genótipos neste ambiente) menos a media geral (média geral de todos os genótipos em todos ambientes). Usando um índice ambiental como abscissa X e o valor

observado do genótipo em determinado ambiente como ordenada Y, utiliza-se uma regressão linear para cada genótipo testado ($Y = \alpha + bX$). O valor de b (ângulo) estima a adaptabilidade do genótipo. Quando $b < 1$ pode-se afirmar que o genótipo responde pouco à melhoria ambiental, $b = 1$ corresponde a genótipos que respondem de forma mediana a melhoria ambiental e $b > 1$, corresponde a genótipos que respondem de forma acentuada à melhoria de ambiente e são mais indicados para ambientes superiores (Eberhart e Russel, 1966).

A análise de variância (ANOVA) e análise de regressão foram, durante muito tempo, a base da análise e modelagem estatística. Entretanto, estas técnicas têm limitação para lidar com dados desbalanceados e com parentesco entre tratamentos. O método REML permite lidar com essa situação permitindo maior flexibilidade e eficiência na modelagem. Tal procedimento foi criado pelos pesquisadores ingleses Desmond Patterson e Robin Thompson, em 1971, e hoje se constitui no procedimento padrão para a análise estatística em uma grande gama de aplicações. Em experimentos agrônômicos e florestais, o REML tem substituído com vantagens o método ANOVA criado pelo cientista inglês Ronald Fisher em 1925. Na verdade, o REML é uma generalização da ANOVA para situações mais complexas. Para situações simples, os dois procedimentos são equivalentes, mas para as situações mais complexas encontradas na prática, a ANOVA é um procedimento apenas aproximado. O REML é um método eficiente no estudo das várias fontes de variação associadas à avaliação de experimentos de campo, permitindo desdobrar a variação fenotípica em seus vários componentes genéticos, ambientais e de interação genótipo x ambiente.

As principais vantagens práticas do REML/BLUP são: permite comparar indivíduos ou variedades através do tempo (gerações, anos) e espaço (locais e blocos); permite a simultânea correção para os efeitos ambientais, estimação de componentes de variância e predição de valores genéticos; permite lidar com estruturas complexas de dados (medidas repetidas, diferentes anos, locais e delineamentos); pode ser aplicado a dados desbalanceados e a delineamentos não ortogonais. No caso de dados desbalanceados, a ANOVA conduz a imprecisas estimativas de componentes de variância e conseqüentemente à inaccuradas predições de valores genéticos. Um software de fácil aplicação prática, destinado à aplicação corriqueira no melhoramento genético, é o Selegen-REML/BLUP (Resende, 2002).

Na análise de modelos mistos com dados desbalanceados os efeitos do modelo, não são testados via testes F tal como se faz no método da análise de variância. Nesse caso, para os efeitos aleatórios, o teste cientificamente recomendado é o teste da razão de verossimilhança (LRT). Para os efeitos fixos, um teste F aproximado pode ser usado. Um

quadro similar ao quadro da análise de variância pode ser elaborado. Tal quadro pode ser denominado de Análise de Deviance (ANADEV) e é estabelecido segundo os seguintes passos: a) obtenção do logaritmo do ponto de máximo da função de verossimilhança residual (L) para modelos com e sem o efeito a ser testado; b) obtenção da deviance $D = -2 \log L$ para modelos com e sem o efeito a ser testado; c) Fazer a diferença entre as deviances para modelos sem e com o efeito a ser testado, obtendo a razão de verossimilhança (LR) e d) Testar, via LRT, a significância dessa diferença usando o teste qui-quadrado com 1 grau de liberdade.

A seleção simultânea por produtividade, estabilidade e adaptabilidade, no contexto de modelos mistos, pode ser realizada pelo método da média harmônica da *performance* relativa do valor genotípico (MHPRVG) predito, proposto por Resende (2004).

De acordo com Resende (2007), este método permite selecionar simultaneamente pelos três atributos mencionados e apresenta as seguintes vantagens: considera os efeitos genotípicos como aleatórios e, portanto fornece a estabilidade e adaptabilidade genotípica e não fenotípica; permite lidar com desbalanceamento; permite lidar com delineamentos não ortogonais; permite lidar com heterogeneidade de variâncias; permite considerar erros correlacionados dentro de locais; fornece valores genéticos já descontados (penalizados) da instabilidade; pode ser aplicado com qualquer número de ambientes; permite considerar a estabilidade e adaptabilidade na seleção de indivíduos dentro de progênies; não depende da estimação e interpretação de outros parâmetros tais quais coeficientes de regressão; elimina os ruídos da interação genótipos x ambientes, pois considera a herdabilidade desses efeitos; gera resultados na própria grandeza ou escala do caráter avaliado e permite computar o ganho genético com a seleção pelos três atributos simultaneamente. Estes dois últimos fatores são considerados bastante importantes.

Dentre os métodos não-paramétricos destacam-se os de Lin e Binns (1988), Huehn (1990) e Carneiro (1998). As análises não-paramétricas segundo Huehn (1990), apresentam algumas vantagens em relação às paramétricas, dentre as quais se podem citar: tendência causada por pontos completamente fora da equação de regressão ajustada é reduzida ou eliminada; não é necessário assumir qualquer hipótese sobre a distribuição dos valores fenotípicos; as medidas estimadas com base nas classificações são de fácil uso e interpretação; a adição ou retirada de um ou poucos genótipos não causaria grandes variações nas estimativas, como poderia ocorrer nos procedimentos paramétricos; e apresenta posição relativa ou classificação dos genótipos.

O método de Lin e Binns (1988) é bastante usado para estudar a interação $G \times A$ e baseia-se nas análises não paramétricas. Nesta metodologia, o desempenho dos acessos é quantificado pelo índice de estabilidade P_i , que corresponde ao quadrado médio da distância entre a média de um acesso para um dado ambiente e a resposta máxima para o mesmo ambiente, em todos os ambientes avaliados. Dessa forma, o quadrado médio menor indica uma superioridade geral do genótipo em questão, pois quanto menor o valor de P_i , menor será o desvio em torno da produtividade máxima, assim, maior estabilidade está relacionada, obrigatoriamente, com alta produtividade (Daher et al., 2003).

Lin e Binns (1988) definiram como medida para estimar a *performance* genotípica (parâmetro P_i), o quadrado médio da distância entre a média da cultivar e a resposta média máxima para todos os ambientes. Este método pondera os desvios de comportamento das cultivares nos ambientes, ou seja, considera a estabilidade de comportamento. Além disso, leva em consideração o rendimento do genótipo e a resposta relativa a um genótipo hipotético, que é uma medida de adaptabilidade. Recentemente, os procedimentos de interpretação mais simples têm tido maior aceitação nos estudos de adaptabilidade e estabilidade, os quais incorporam ambos (adaptabilidade e estabilidade) em uma única característica, com o método de Lin e Binns (Santos, 2012).

METODOLOGIA DE LIN E BINNS (1988)

A metodologia de Lin e Binns (1988) consiste em uma análise não paramétrica que identifica os genótipos mais estáveis por meio de um único parâmetro de estabilidade e adaptabilidade (P_i), e considera os desvios em relação à produtividade máxima obtida em cada ambiente, além de possibilitar o detalhamento dessa informação para ambientes favoráveis e desfavoráveis (Menezes et al., 2015).

Esse método é quantificado pelo índice de estabilidade P_i , que corresponde ao quadrado médio da distância entre a média de uma cultivar, para um dado ambiente e a resposta máxima para o mesmo ambiente, em todos os ambientes avaliados. Assim o menor quadrado médio indica superioridade do genótipo avaliado, pois quanto menor o valor de P_i , menor será o desvio em torno da produtividade máxima; assim, maior estabilidade está relacionada com alta produtividade (Rocha et al., 2015).

A decomposição de P_i proposta por Carneiro (1998) divide a estimativa P_i ambientes favoráveis $P_i (+)$ e desfavoráveis $P_i (-)$. A classificação dos ambientes segundo essa metodologia é baseada nos índices ambientais, que nada mais é do que a diferença dos

genótipos em cada ambiente e a média geral. Isso torna o trabalho dos melhoristas mais prático e adequado, pois terão os melhores genótipos de forma geral e poderão direcioná-los, ou seja, poderá recomendar genótipos para ambientes favoráveis ou desfavoráveis.

Murakami e al.(2004) discorrem que o método de Lin e Binns (1988) pondera de maneira eficiente os desvios dos comportamentos dos genótipos nos ambientes avaliados, pois não considera a distância simples, mas sim o quadrado médio da distância em relação à resposta máxima em cada local. Diversos autores relataram resultados satisfatórios utilizando e metodologia de Lin e Binns (1988), sendo de fácil interpretação, além de discriminar melhor o desempenho dos genótipos em ambientes favoráveis e desfavoráveis (Côrrea et al., 2006; Filho et al., 2007; Pereira et al., 2009; Franceschi et al., 2010; Carvalho et al., 2013; Silva et al., 2013; Oliveira et al., 2014; Carvalho et al., 2015).

Franceschi et al. (2010), avaliaram a adaptabilidade e estabilidade para a produção de grão de 17 cultivares de trigo em seis localidades do Estado do Paraná, utilizando quatro métodos diferentes. Diante de seus resultados, os autores concluíram que a metodologia de Lin e Binns, foi a mais eficiente em apontar cultivares de alto rendimento e boa estabilidade, além de ser bastante discriminante, o que confere maior segurança na recomendação de cultivares e maior estabilidade.

Silva et al. (2013) avaliando a adaptabilidade e estabilidade de produção em ensaios regionais de feijoeiro para o Estado de São Paulo, concluíram que o método de Lin e Binns (1988), mostrou-se adequado para análise dos dados, identificando os genótipos mais estáveis, produtivos e adaptados aos ambientes de cultivo.

Estudos realizados por Oliveira et al. (2014) utilizando três métodos de adaptabilidade e estabilidade para avaliar 26 linhagens de mamão, mostraram que o método de Lin e Binns (1988) também foi o mais adequado para discriminar os genótipos de mamoeiro mais estáveis e produtivos em três ensaios no estado da Bahia.

Silva et al. (2014) com o intuito de identificar genótipos superiores em produtividade, estabilidade e adaptabilidade, discorrem que as estimativas de estabilidade do método proposto por Lin e Binns (1988) permitiu quantificar o quanto a cultivar está próxima do desempenho ideal.

Silva et al. (2016) avaliando a produtividade de grãos de sorgo granífero, visando selecionar genótipos com maior adaptabilidade e estabilidade produtiva a diversas regiões brasileira, utilizou diversos métodos de adaptabilidade e estabilidade, entre eles o método de

Lin e Binns (1988), que foi o foi mais eficiente em discriminar os materiais com maior adaptabilidade e estabilidade nas diversas regiões avaliadas.

Oliveira et al. (2016) visando avaliar o desempenho de 16 genótipos de sorgo sacarino durante duas safras agrícolas no município de Cáceres-MT, utilizando a metodologia de Lin e Binns e de Plaisted e Peterson, obtiveram resultado contrastantes entre as duas metodologias utilizadas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a leitura e análise dos artigos publicados em periódicos especializados, e em função dos resultados obtidos, considera-se que a metodologia proposta por Lin e Binns (1988) é eficiente para estimar a adaptabilidade e estabilidade, bem como a interação G x A de genótipos de soja. Existe tendência à substituição desta metodologia clássica pela modelagem mista.

REFERÊNCIAS

ABIOVE. **Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais**. Complexo Soja – Exportações. 1997. Disponível em: 'http://www.abiove.com.br/exporta_br.html'. Acesso em: 17 fev. 2015.

ALLARD, R.W.; BRADSHAW, A.D. Implications of genotype– environmental interactions in applied plant breeding. **Crop Science**, Madison, v.4, n.5, p.503-508, 1964.

ALLIPRANDINI, L.F.; TOLEDO, J.F.F.; FONSECA JÚNIOR, N.; ALMEIDA, L.; KIIHL, S. Efeitos da interação genótipo x ambiente sobre a produtividade da soja no Estado do Paraná. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.29, n.9, p.1433-1444, 1994.

ALMEIDA, R.D.; PELUZIO, J.M.; AFFÉRI, F.S. Divergência genética entre cultivares de soja, sob condições de várzea irrigada, no sul do Estado Tocantins. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v.42, n.1, p.108-115, 2011.

BEARD, P.; KNOWLES, P.F. Frequency of cross-pollination of soybean after seed irradiation. **Crop Science**, Madison, v.11, n.4, p.489-492, 1971.

BORÉM, A.; MIRANDA, G.V. **Melhoramento de Plantas**. Viçosa: Editora UFV, 2013. 523p.

BRASIL, E.M.; CHAVES, L.J. Utilización de un modelo cuadrático para El estudio de La respuesta de cultivares a La variación ambiental. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE GENÉTICA, 11, 1994, Monterrey. **Memorias**. Monterrey: Asociacion Latinoamericana de Genética, 61p.

CARNEIRO, P.C.S. **Novas metodologias de análise da adaptabilidade e estabilidade de comportamento.** 1998. 168p. Tese (Doutorado em melhoramento) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1998.

CARVALHO, C. G. P. de; ARIAS, C. A. A.; TOLEDO, J. F. F. de; ALMEIDA, L. A. de A.; KIIHL, R. A. de S.; OLIVEIRA, M.F. de. Interação genótipo x ambiente no desempenho produtivo da soja no Paraná. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.7, p.989-1000, 2002.

CARVALHO, E. V.; PELUZIO, J. M.; SANTOS, W. F.; AFFÉRI, F. S.; DOTTO, M. A. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de soja em Tocantins. **Revista Agro@ambiente**. 7: 162-169, 2013.

CARVALHO, C.G.P.; OZAWA, E.K.M.; AMABILE, R.F.; GODINHO, V.P.C.; GONÇALVES, S.L.; RIBEIRO, J.L.; SEIFERT, A.L. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de girassol resistentes a imidazolinonas em cultivos de segunda safra. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**.10: 1-7, 2015.

CONAB, 2017. Disponível em<www.conab.gov.br> Acesso em 10 de Janeiro de 2018.

CÔRREA, L. V. T.; MENDES, A. N. G.; BARTHOLO, G. F. Comportamento de progênes de cafeeiro Icatu. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.30, n.4, p.618 – 622, 2006.

CROSSA, J. Statistical analyses of multi location trials. **Advances in Agronomy**, San Diego, v.44, n.1, p.55-85, 1990.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético.** Viçosa: Imprensa universitária, 1994. 390p.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético.** Viçosa: Editora UFV, 2.ed. 2001. 390p.

CRUZ, C.D.; TORRES, R.A. de; VENCOVSKY, R. An alternative approach to the stability analysis proposed by Silva and Barreto. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v.12, n.2, p.567-80, 1989.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético.** Viçosa: Editora UFV, 2004. 480p.

DAHER, R.F.; PEREIRA, M.G.; JUNIOR, A.T.A.; PEREIRA, A.V.; LÉDO, F.J.S.; DAROS, M. Estabilidade da produção forrageira em clones de capim-elefante. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras. v.27, n.4, p.788-797, 2003.

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

DUARTE, J.B.; ZIMMERMANN, M.J.O. Correlation among yield stability parameters in common bean. **Crop Science**, Madison, v.35, n.3, p.905-912, 1995.

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

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa da Soja. **Recomendações Técnicas para cultura de soja na região central do Brasil –2000/01**. Londrina, 2000.245p. (Documentos, 146).

EMBRAPA, 2017. Disponível em <www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos> Acesso em 20 de junho de 2017.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations.2014. Disponível em:<<http://www.faostat.fao.org>>. Acesso em: 2 de Junho, 2015.

FILHO, A.C; PERECIN, D.; MALHEIROS, E.B.; GUADAGNIN, J.P. Comparação de métodos de adaptabilidade e estabilidade relacionados à produtividade de grãos de cultivares de Milho. **Bragantia**, Campinas, v.66, n.4, p.571-578, 2007.

FRANCESCHI, L.; BENIN, G.; MARCHIORO, V.S.; MARTIN, T.N.; SILVA, R.R.; SILVA, C.L. Métodos para análise de adaptabilidade e estabilidade em cultivares de trigo no estado do Paraná. **Bragantia**, Campinas, v.69, n.4, p.797-805, 2010.

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, n.11, p.553-606, 1920.

GAUCH, H.G.; ZOBEL, R.W. AMMI analysis of yield trials. In: KANG, M.S.; GAUCH, H.G. (Ed.) **Genotype-by-environment interaction**. New York: CRC Press, 1996. 416p.

HALL, A.E. **Crop responses to environment**. CRC Press LLC: Boca Raton, CRC Press: 2001, 228p.

HANSON, W.D. Distance statistics and interpretation of Southern states regional soybean tests. **Crop Science**, Madison, v.34, n.6, p.1498-1504, 1994.

HILL, M.O. Correspondence analysis: a neglected multivariate method. **Applied Statistics**, v.23, n.2, p.340-354, 1974.

HOGG, R.V.; CRAIG, A.T. **Introduction to mathematical statistics**. New York: Macmillan Co, 1965. 388p.

HUEHN, M. Nonparametric measures of phenotypic stability. Part 1 and 2: Theory and Applications. **Euphytica**, v.47, p.189-194, 1990.

HÜHN, M. Nonparametric analysis of genotype x environment interactions by ranks. In: KANG, M.S.; GAUCH, H.G. (Ed.). **Genotype-byenvironment interaction**. Boca Raton: CRC Press, 1996. p.235-270.

KASTLER, M.; QUEIROZ, E.F; TERASAWA, F. Introdução e evolução da soja no Brasil. In: MYASAKA, S.; MEDINA, J.C. (Ed.). **A soja no Brasil**. Campinas: Editora ITAL, 1981. p.22-24.

LAVORANTI, O.J. **Estabilidade e adaptabilidade fenotípica através da Reamostragem “Bootstrap” no modelo AMMI**. 2003. 166p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2003.

LIN, C.S.; BINNS, M.R.A Superiority measure of cultivar performance for cultivar x location data. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v.68, n.1, p.193-198, 1988.

MAGARI, R.; KANG, M.S. SAS Stable: stability analysis of balanced and unbalanced data. **Agronomy Journal**, Madison, v.89, n.5, p.929-932. 1997.

MENEZES. C.B.; RIBEIRO, A.S.; TARDIN, F.D.; CARVALHO, A.J.; BASTOS, E.A.; CARDOSO, M.J.; PORTUGAL, A.F.; SILVA, K.J.; SANTOS, C.V.; ALMEIDA, F.H. Adaptabilidade e estabilidade de linhagens de sorgo em ambientes com e sem restrição hídrica. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.14, n.1, p.101-115, 2015.

MURAKAMI, D.M.; CARDOSO, A A.; CRUZ, C.D.; BIZÃO, N. Considerações sobre duas metodologias de análise de estabilidade e adaptabilidade. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.1, p.71-78, 2004.

NUNES, G.H.S. **Interação genótipos x ambientes em eucalipto: implicações sobre a seleção e formas de atenuar seu efeito**. 2000. 160p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2000.

OLIVEIRA, F.T. **Adaptabilidade e estabilidade fenotípica de genótipos de sorgo sacarino no município de Cáceres**. 2016. 103p. Dissertação (Mestrado em genética e melhoramento de plantas) - Universidade do Estado de Mato Grosso, Cáceres, 2016.

OLIVEIRA, E.J.; FILHO, G.A.F.; FREITAS, J.P.X.; DANTAS, J.L.L. Desempenho produtivo e interação genótipo x ambiente em híbridos e linhagens de mamoeiro. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.30, n.2, p.402-410, 2014.

PEREIRA, H.S.; MELO, L.C.; PELOSO, M.J.; FARIA, L.C.; COSTA, J.G.C.; DÍAZ, J.L.C.; RAVA, C.A.; WENDLAND, A. Comparação de métodos de análise de adaptabilidade e estabilidade fenotípica em feijoeiro-comum. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.44, n.4, p.374-383, 2009.

PERKINS, J.; JINKS, J.L. Environmental and genotype environmental components of variability. III. Multiple lines and crosses. **Heredity**, London, v.23, n.3, p.339-356, 1968.

POLIZEL, A.C.; ALVES, C.C.; HAMAVAKI, O.T.; LIMA, M.A.; SANTOS, A.Q. Desempenho agrônomo de genótipos de soja de ciclo semiprecoce/médio em Rondonópolis. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.9, n.17, p.986-993, 2013.

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

RESENDE, M.D.V.de. **Software Selegen-REML/BLUP**. Colombo: Embrapa Florestas, 2002. 67p.

RESENDE, M.D.V. **Métodos Estatísticos Ótimos na Análise de Experimentos de Campo**. Colombo: Embrapa Florestas, 2004, 57p.

RESENDE, M.D.V. **Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético**. Colombo: Editora Embrapa Florestas, 2007. 561p.

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

ROCHA, M.M; VELLO, N.A. Interação genótipos e locais para rendimento de grãos de linhagens de soja com diferentes ciclos de maturação. **Bragantia**, Campinas, v.58, n.01, p.69-81, 1999.

ROCHA, R.B.; RAMALHO, A.R.; TEIXEIRA, A.L.; SOUZA, F.F.; CRUZ, C.D. Adaptabilidade e estabilidade da produção de café beneficiado em *Coffea canephora*. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.45, n.9, p.1531-1537, 2015.

ROSSE, L.N.; VENCOVSKY, R. Modelo de regressão não-linear aplicado ao estudo da estabilidade fenotípica de genótipos de feijão no Estado do Paraná. **Bragantia**, Campinas, v.59, n.1, p.99-107, 2000.

ROSSMANN, H. **Estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos de uma população de soja avaliada em quatro anos**. 2001. 80p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

SANTOS, G.A. **Interação genótipos x ambientes para produtividade de híbridos multi-espécies de eucalipto no rio grande do sul**. 2012. 129p. Tese (Pós-Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

SEDIYAMA, T.; TEIXEIRA, R.C.; REIS, M.S. Melhoramento da soja. In: BORÉM, A. (Ed.). **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa: Editora UFV, 1999. p.558-608.

SEDIYAMA, T.; TEIXEIRA, R.C.; REIS, M.S. Melhoramento da soja. In: BORÉM, A. (Ed.). **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa: Editora UFV, 2005. p.553-603.

SILVA, J.G.C. Análise da adaptabilidade por regressão segmentada com estimação da junção dos segmentos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, n.7, p.1013-1029, 1998.

SILVA, J.G.C.; BARRETO, J.N. An application of segmented linear regression to the study of genotypes environment interaction. **Biometrics**, Washington, v.41, n.4, p.1093, 1986.

SILVA, G.A.P. CHIRATO, A.F.; GONÇALVES, J.G.R.; PERINA, E.F.; CARBONELL, S.A.M. Análise da adaptabilidade e estabilidade de produção em ensaios regionais de feijoeiro para o Estado de São Paulo, **Revista Ceres**, Viçosa, v.60, n.1, p.59-65, 2013.

SILVA, A.L.; TARDIN, F.D.; ROTTA, G.W.; BALDONI, A.B.; BARELLI, M.A.A.; SILVA, A.F.; GONÇALVES, D.R.; SILVA, F.B.; RIBEIRO, J.R.D.; PARRELLA, R.A.C.

Characterization of biomass sorghum cultivars aiming to generate energy for the North region of Mato Grosso, **Nativa**, Sinop, v.4, n.3, p.175-178, 2016.

SHUKLA, G.K. Some statistical aspects of partitioning genotype-environmental components of variability. **Heredity**, London, v.29, n.2, p.237-245, 1972.

STORCK, L.; VENCOVSKY, R. Stability analysis on a bi-segmented discontinuous model with measurement errors in the variables. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v.17, n.1, p.75-81, 1994.

TOLER, J.E.; BURROWS, P.M. Genotypic performance over environmental arrays: a non linear grouping protocol. **Journal of Applied Statistics**, London, v.25, n.1, p.131-143, 1998.

USDA, 2014. Disponível em <www.fas.usda.gov> Acesso em 20 de junho de 2015.

VAN SCHAİK, P.H.; PROBST, A.H. Effects of some environmental factors on flower production and reproductive efficiency in soybeans. **Agronomy Journal**, v.50, p.192-197, 1958.

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

VERNETTI, F.J. Origem da espécie, introdução e disseminação no Brasil. In: VERNETTI JUNIOR, F.J. (Ed.). **Soja: planta, clima, pragas, moléstias e invasoras**. Campinas: Fundação Cargill, 1983. p. 3-123.

WESTCOTT, B. A method of assessing the yield stability of crop genotypes. **Journal of Agricultural Sciences**, Cambridge, v.108, n.2, p.267-274, 1987.

WRICKE, G. Zur berechnung der okovalenz bei sommerweizen und hofer. **Pflanzenzuchturg**, Berlin, v.52, p.127-138, 1965.

YAN, W.; KANG, M.S. **GGE biplot analysis: a graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists**. Boca Raton: CRC Press, 2002. 286p.