

SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE SOJA POR TESTE DE PROGÊNIES VIA MODELOS MISTOS

Silene Tais Brondani¹, Márcia Marise de Freitas Cação² e Juliana Parisotto Poletine¹

¹Universidade Estadual de Maringá – UEM, Campus Regional de Umuarama, Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Estrada da Paca s/n, CEP 875000-00, Umuarama, PR. E-mail: silenetais@outlook.com; jppoletine@uem.br

²APTA, APTA Regional, Unidade Regional de Pesquisa e Desenvolvimento de Assis. Rodovia SP 333 (Assis-Marília) km 397, CEP 19.805-000, Assis, SP. E-mail: marcia.rodriques@sp.gov.br

RESUMO: O cultivo da soja (*Glycine max* (L.)) apresenta importância no cenário agrícola mundial, sendo a leguminosa com maior importância para a produção de grãos. O melhoramento genético na cultura da soja tem sido de grande relevância para o aumento da produtividade, por meio dele diversos materiais são desenvolvidos e estudados. O avanço de gerações do melhoramento tem como intenção atingir o nível de homozigose ideal e realizar o teste de progênies, um método que proporciona o isolamento de plantas originais que são colocadas em contato com o ambiente produzindo um ensaio de competição. O objetivo deste trabalho foi selecionar genótipos de soja da geração F₄ (avanço de gerações) até a obtenção de homozigose. Os dados obtidos foram analisados por meio de modelagem mista, utilizando quatro cultivares comerciais como testemunhas. As características avaliadas foram: número de nós produtivos da haste principal, número de grãos, peso de mil sementes e produtividade (kg ha⁻¹). Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância utilizando o delineamento de blocos aumentados de Federer a 5% de probabilidade, com o auxílio do Programa Computacional SELEGEN. Das 149 progênies avaliadas, 64 apresentaram ganho no ranqueamento da produtividade. As populações que mais se destacaram para a região de estudo quando se enfatiza a produtividade de grãos, forem B e A. A população A seguiu a ordem 2, 3, 5 e 7 e a população B a ordem 1, 4, 9 e 10, respectivamente.

PALAVRAS-CHAVE: *Glycine max* L., melhoramento genético, seleção precoce.

SOYBEAN GENOTYPES SELECTION BY PROGENYS TEST THROUGH MIXED MODELS

ABSTRACT: Soybean (*Glycine max* (L.)) cultivation shows great importance in world agricultural scenario, being the legume with greater importance for grains production. Genetic improvement in soybean crop has been of great relevance for grain yield increase, and through it several materials are developed and studied. The advancement of breeding generations aims to reach the ideal homozygosity level and to carry out to progeny test, a method that provides the isolation of original plants that are cultivated in several environments, producing a competition test. So that, the objective of this work was to select soybean genotypes of F₄ generation (advancing generations) up to homozygosis was obtained. Obtained data were analyzed using mixed modeling, with four commercial cultivars as controls. The followed characteristics were evaluated: number of productive nodes of the main stem, number of grains, weight of a thousand seeds and grain yield (kg ha⁻¹). Information results were submitted to variance analysis using Federer augmented block design at 5% probability level, with the aid of Selegen Computational Program. Considering 149 progenies evaluated, 64 ones showed select gains in the ranking of grain yield. Populations that stood out for study environment when emphasizing grain yield were B and A, respectively. Population A appeared in order 2, 3, 5 and 7, and population B, in order 1, 4, 9 and 10, respectively.

KEY WORDS: *Glycine max* L., genetic improvement, early selection.

INTRODUÇÃO

Segundo estudos realizados e descritos por Vavilov no ano de (1926), a soja (*Glycine max* L. Merrill) possui seu centro de origem na China, onde foi domesticada e cultivada. A partir dali a mesma também começou a ser cultivada em outros países do Oriente. No Brasil, o primeiro relato sobre a cultura da soja aconteceu no estado da Bahia, em 1882 (Black, 2000). Em 1914, a soja foi introduzida no Rio Grande do Sul, local onde as variedades que vieram de fora do país, apresentaram melhor adaptação frente às condições edafoclimáticas (Bonetti, 1981). Parte da variabilidade genética de soja é conservada em bancos de germoplasma, onde os Estados Unidos possuem mais de 15.000 acessos de soja. Já o Brasil possui uma coleção de 4.000 acessos que são conservados na Embrapa Soja, em Londrina, e na Embrapa de Recursos Genéticos, em Brasília. A maioria dos acessos presentes são compostos por genótipos provenientes da China e do Japão (Almeida et al., 1997).

A soja é uma das culturas mais consumidas em todo o mundo e também é a principal oleaginosa (Mengistu et al., 2018). Tornou-se destaque entre as *commodities* mais produzidas (Wijewardana et al., 2019) e se expressa fortemente na economia do Brasil, na exportação e no uso interno. O grão pode ser utilizado para consumo humano e animal agregando fortemente o comércio (Ribeiro et al., 2005; Dobhal e Raghuvanshi, 2018). Além disso, a soja quando esmagada tem a extração de dois subprodutos: o óleo e o farelo de soja. Em 2017, cerca de 46 milhões de toneladas de soja foram esmagadas e, em média, 32 milhões foram utilizados em farelo de soja para a alimentação proteica de animais como aves, suínos e bovinos e para alimentação humana industrial. Já para o consumo humano e para a fabricação de biodiesel, foram utilizados cerca de 8 milhões de toneladas de soja (Conab, 2018).

A soja mundial apresentou produção de 337,298 milhões de toneladas, com a área plantada de 122,647 milhões de hectares na safra 2019/2020 (USDA, 2020). Na safra de soja 2020/2021, ocorreu um aumento de 8,6%, quando comparada a anterior. A produção foi de 135,54 milhões de toneladas e o aumento foi motivado pela alta dos preços internacionais e pela forte demanda interna e externa. Já para o estado do Paraná, na safra 2020/21, a colheita se aproxima do fim, cerca de 98% da área encontra-se colhida e existem relatos de que a oleaginosa fechará com produção menor que 20 milhões de toneladas (Conab, 2021).

A importância da cultura de soja para o país faz com que novas pesquisas sejam realizadas, a fim de aperfeiçoar o seu cultivo, seus resultados e maximizar seu potencial por meio do melhoramento genético (Costa e Costa, 1989). Uma cultivar de soja que satisfaça as necessidades do produtor precisa contar com expressivas produtividades, possuir estabilidade de produção de grãos, adaptabilidade a diversos ambientes e regiões. A importância e as

atribuições para os melhoristas é identificar critérios, selecionar e alterar as características desejáveis, conforme as características de interesse no programa de melhoramento genético (Reis et al., 2004).

Aliada às diversas tecnologias de produção e por investimento o desenvolvimento de cultivares são adaptáveis a diversos ambientes com o objetivo de desenvolver genótipos de soja resistentes (Nogueira et al., 2015). Costa et al. (2004) relatam a importância dos programas de melhoramento genético, para que atendam à demanda de maiores produtividades, auxiliando em desenvolver novos genótipos e destaque em produtividade de grãos. Para o processo do melhoramento genético é de extrema necessidade que haja o processo de seleção natural ou artificial, e o mesmo só ocorre quando há presença da variabilidade genética entre as plantas (Reis et al., 2004).

A obtenção de genótipos superiores aos existentes no mercado de trabalho é um dos principais objetivos do melhoramento. O processo inicia-se através da identificação de melhores progênies para que o avanço do melhoramento seja eficaz, e é através da escolha dos parentais que se realiza as hibridações. Após esse processo, é efetuada a identificação das melhores progênies e a avaliação de efeito genótipo x ambiente em locais e anos agrícolas diferentes para o avanço das demais etapas, realizando-se, assim, a escolha da melhor linhagem a ser difundida no mercado agrícola (Rocha e Vello, 1999; Duarte e Venkovsky, 2001).

Conforme Cruz (2005), o método de seleção de plantas mais utilizado no melhoramento genético de plantas é o teste de progênie; por meio dele, é possível avaliar e estabelecer o valor do genitor, realizando a seleção das melhores gerações. As progênies que se mostrarem superiores e uniformes são colhidas individualmente e avaliadas no ensaio preliminar de avaliação de linhagens. A partir dessa etapa, os procedimentos envolvem as avaliações intermediárias, finais e regionais das linhagens.

Portanto, selecionar progênies superiores não é algo fácil, pois as características de interesse são na maioria das vezes quantitativas, ou seja, apresentam comportamentos complexos e são influenciadas pelo ambiente. E, ainda quando realizadas algumas alterações genéticas, provocam diversas mudanças em outras características por estarem inter-relacionados (Cruz e Regazzi, 1997).

Diversos estudos são realizados a fim de maximizar os métodos de seleção de plantas anuais, com o intuito de aprimorar as metodologias utilizadas. A modelagem mista tem sido comprovada para o melhoramento genético de plantas anuais, como a soja, por exemplo, (Pinheiro et al., 2013). Henderson (1975) cita a utilização das equações de modelagem mista

com a função de aumentar a eficiência da seleção e de predizer o valor do genótipo. Ramalho e Araújo (2011) apontam a utilização de modelos mistos para realizar a identificação de progênies e linhagens superiores, o que tem se mostrado uma estratégia bastante válida para plantas autógamas.

A modelagem mista é um modelo estatístico que avalia as variáveis que dependem dos efeitos do ambiente (Searle et al., 1992). O método é uma maneira flexível para a análise de variáveis aleatórias e parâmetros genéticos (Resende, 2002a) e a vantagem desse modelo estatístico é de ser aplicado, mesmo havendo a possibilidade de os dados estarem desbalanceados (Iemma, 2003).

Com base no exposto, o objetivo deste trabalho foi analisar o desempenho de 161 progênies cultivadas na cidade de Luiziânia, para selecionar genótipos de soja com altas produtividades por meio do teste de progênie, via modelagem mista.

REVISÃO

SITUAÇÃO SOCIOECONÔMICA DA SOJA

No decorrer dos anos, a cultura da soja tem sido muito estudada e novas explorações foram realizadas na espécie. A planta é encontrada em diferentes regiões pelo país. Este fato se dá devido ao avanço do cultivo realizado nas áreas do cerrado. A soja liderou a implantação de uma evolução que ocorreu nos estados de Mato Grosso e Goiás, o que gerou um novo desenvolvimento para as regiões desvalorizadas e pouco povoadas (Freitas, 2011).

Segundo a Embrapa (2016), a produção de alimentos no Brasil aumentou na década de 1970, onde a produtividade e as tecnologias utilizadas eram consideradas baixas, pois nesta época existiam dificuldades para resolver os desafios enfrentados para o aumento da produção. Com o passar dos anos, os investimentos em pesquisas para geração de novas tecnologias foram aumentando. O agronegócio brasileiro, hoje, é denominado como o mais dinâmico e eficiente do mundo, tendo a soja como um de seus maiores aliados nessa transformação.

A soja ocupa uma posição de destaque no cenário mundial devido à abrangência de sua utilização, bem como na geração de empregos (Conab, 2017). Segundo Vencato et al., (2010), o Brasil era considerado o segundo maior produtor mundial de soja, perdendo apenas para os Estados Unidos da América. Atualmente, o Brasil ocupa a primeira posição de produtor e exportador de soja do mundo (USDA, 2020). A produção do Paraná para a safra 2019/2020 foi de 21,598 milhões de toneladas (Conab, 2020).

Para Rezende et al., (2007) a larga produção da soja têm ocasionado uma complexa estrutura de produção agrícola, de armazenamento do grão, do processamento e de comercialização dentro e fora do país. A demanda do mercado internacional impulsionou a rápida expansão da área, ocasionando a substituição de outras culturas pela soja.

MORFOLOGIA E CARACTERÍSTICAS DA ESPÉCIE

A soja pertence ao reino Plantae, espécie *Glycine max* (L.) (Sedyama, 2009). Considerada uma planta de clima temperado, possui ampla adaptação em diferentes climas, como os tropicais e subtropicais (Sedyama, 1999). É uma planta anual, podendo variar de 0,3 a 2,5 metros de altura. No caso das cultivares precoces, seu desenvolvimento ocorre em cerca de 70 dias; já nos casos das cultivares tardias, seu desenvolvimento pode chegar até 200 dias. O sistema radicular da soja é axial com raízes secundárias e nódulos são ligados à epiderme; esses contêm a presença de uma bactéria do gênero *Rhizobium* que vive nas células das raízes de leguminosas. As bactérias colonizam células dentro dos nódulos radiculares da raiz e convertem nitrogênio atmosférico em amônia (Sedyama et al., 2015).

O caule é ereto com pequenas ou grandes ramificações, dependendo da cultivar. As folhas variam podendo apresentar dois cotilédones, duas folhas unifoliadas e trifoliadas e o seu formato pode ser triangular, oval e lanceolada (Sedyama, 2016). As flores da soja são completas pois possuem os órgãos sexuais na mesma flor, sua coloração pode variar conforme a cultivar, podendo ser branca ou em tons de roxo. O número de flores pode variar de 2 a 35 por ramo. A abertura floral ocorre na parte da manhã e pode ser influenciada por condições adversas; em casos de altas temperaturas, pode ocorrer o abortamento de flores ou a deficiência hídrica que retarda o florescimento (Nogueira et al., 2009). O fruto da soja é do tipo vagem, podendo conter de uma a cinco sementes (Sedyama, 2016).

Classificada como planta de noites longas e dias curtos, a soja possui uma vasta variabilidade genética com relação a respostas sobre as exigências fotoperiódicas. As cultivares convencionais são altamente sensíveis às mudanças como latitudes e datas de semeadura; como resposta, isso ocorre devido às variações no fotoperíodo (Hartwig & Kiihl, 1979). O rendimento de cultivares de soja necessita de características desejáveis para o aumento do potencial da planta. Podemos citar, como exemplo, a qualidade fisiológica da semente, a maior resistência de doenças e insetos, a resistência ao acamamento de plantas e uma fácil adaptação às condições ambientais (Verneti, 1983).

IMPORTÂNCIA DO MELHORAMENTO DE PLANTAS

O melhoramento genético de plantas tem como função o aumento da produtividade de forma sustentável e, com o passar dos anos, os procedimentos têm sido cada vez mais eficientes, com menor custo e maior rapidez (Borém e Miranda, 2013). Nos programas de melhoramento genético, a busca por cultivares que demonstrem de forma satisfatória as características favoráveis é extremamente importante, pois é por meio da obtenção dos resultados que são alcançadas expressivas produtividades nas culturas (Maia et al., 2009).

É de extrema importância que o melhorista tenha um amplo conhecimento em diversas áreas da Agronomia como, por exemplo, fitopatologia, entomologia e citogenética. Necessário ainda é conhecer a cultura que está sendo trabalhada, o sistema de produção e estabelecer as características a serem inseridas em uma nova variedade (Borém, 2005).

O melhoramento de plantas requer algumas etapas que são essenciais para a obtenção do genótipo esperado, e é necessário que as seleções sejam realizadas por alguém com competência e também que haja variabilidade genética, para que a avaliação final seja eficaz (Carvalho et. al., 2008).

O aperfeiçoamento do melhoramento genético das espécies agrícolas tem papel fundamental na produção. Podemos frisar que o mesmo passa a ser indispensável no aumento do rendimento de grãos, na produção de raízes, tubérculos, folhas, caules e frutos, bem como na tolerância em diversas áreas, na acidez do solo, na deficiência hídrica, na resistência de doenças, ataques de pragas, no auxílio da qualidade da semente, aumento no teor e qualidade de fibra ou de óleo, como também na obtenção de frutos sem sementes (Pinto, 2009).

MELHORAMENTO GENÉTICO NA CULTURA DA SOJA

O aumento de produção da soja no Brasil ocorre, principalmente, por investimentos das áreas públicas e privadas em estudos desenvolvidos no melhoramento de plantas, pois é por meio do melhoramento genético que cultivares vem sendo adaptáveis a diferentes regiões do país. O principal objetivo dos programas de melhoramento genético é de desenvolver cultivares que sejam estáveis, resistentes a doenças e pragas e que se adaptem em diferentes regiões (Nogueira et al., 2015).

A principal finalidade do melhoramento da soja é a conquista de cultivares que expressem características com altas produtividades, estabilidade de produção e que possuam ampla adaptabilidade a diversos ambientes. Os programas de melhoramento genético requerem muito tempo de trabalho, por exemplo, onde são selecionadas as plantas em gerações segregantes com o objetivo de obter uniformidade. Após a seleção, os genótipos são

avaliados em diferentes locais, a fim de avaliar a estabilidade e a adaptabilidade dos genótipos em diversos ambientes (Murakami et al., 2004).

A genética vem corroborando para a diminuição dos diversos ataques de doenças e pragas na cultura da soja. A resistência genética tem sido a forma mais econômica e que apresentou melhor aceitação por parte de produtores rurais. Desse modo, os métodos utilizados na cultura da soja são os normalmente utilizados em demais espécies autógamas. Alguns métodos tem a principal função de explorar a variabilidade natural existente, como a introdução de linhagens, cultivares ou variedades, a seleção massal e a seleção de plantas individuais, através do teste de progênie. Alguns métodos utilizam essa variabilidade existente por meio de mais de uma linhagem durante o cruzamento, o método genealógico da população, o '*single seed descent*' (SSD) (Fehr, 1987).

TESTE DE PROGÊNIE

A condução do método de seleção de plantas ocorre a partir da colheita de uma semente de cada geração. As sementes provenientes da geração F₂ darão origem à geração F₃, onde será selecionada novamente a semente de cada um dos indivíduos. Esse processo é repetido até alcançar-se a geração F₅, quando a partir daí são selecionadas as plantas de formas individuais para ser realizado o teste de progênie. O mesmo tem o objetivo de selecionar as plantas que se sobressaíram e que são uniformes. Essas são colhidas individualmente e avaliadas novamente no ensaio preliminar de linhagens. A partir disso, a etapa será avaliada conforme as necessidades do programa de melhoramento, como em avaliações intermediárias e finais (Borém, 1997).

No método de melhoramento de plantas, diversas fases são desenvolvidas, através das populações. Os processos de seleção e de avaliação das linhagens são feitos, pois é por meio da avaliação que as plantas desejadas são selecionadas. O primeiro passo é realizar o desenvolvimento de populações segregantes, para que atenda às necessidades do melhoramento genético. Após esse processo, as populações são avaliadas por diversas gerações, para que atinjam a uniformidade esperada (homozigose). O teste de progênie e a seleção de linhagens são os processos que irão avaliar novamente as plantas, realizar a seleção e a classificação, conforme as características que são desejadas pelo melhorista. Para a seleção de genótipos superiores são realizados diversos ensaios de avaliação, que serão implantados em diversos locais e ambientes para que seja avaliada e identificada a interação da planta com o ambiente (Almeida et al., 1997).

O teste de progênie consiste em uma seleção de diversos indivíduos a partir de uma

população original. Na geração seguinte, as plantas selecionadas são avaliadas em parcelas individuais, e se forem aprovadas, são colocadas em ensaios de competição (Carvalho et. al., 2008). Para Allard (1999), a primeira etapa da seleção é denominada a mais criteriosa, pois cada planta produz uma linhagem, quando será avaliada a presença ou a ausência da variabilidade genética. O isolamento das plantas selecionadas, quando expostas à geração subsequente, permite a eliminação de genótipo que tenham sido selecionados por influência do ambiente, visto que somente indivíduos superiores produzem progênes superiores (Carvalho et. al., 2008).

MODELOS MISTOS

A avaliação estatística do melhoramento genético conta com a interação genótipo x ambiente (G x A) que se torna um dos parâmetros mais complicados para avaliação de seleção e indicação de cultivares (Garbuglio et al., 2007). Por isso, a necessidade de um método estatístico de qualidade, capaz de interpretar a magnitude da interação (G x A), com resultados concisos (Yokozimo et al., 2013). Conforme a análise de Ramalho e Araújo (2011), a estratégia adequada para a precisão do experimento no melhoramento de plantas autógamas é feito utilizando-se modelos mistos, como a metodologia experimental, pela identificação de progênie ou linhas.

Na concepção de Federer, em 1958, a modelagem mista é considerada como efeitos fixos; já em termos da metodologia mista, as testemunhas são avaliadas com diversas repetições, onde são considerados efeitos aleatórios. Portanto, quando consideramos os efeitos como fixos ou aleatórios, condizem praticamente ao mesmo resultado. Isso ocorre, pois a herdabilidade da média da testemunha tende a 1, quando os efeitos das testemunhas são tratados como fixos.

Através disso, os processos de estimação e predição são executados ao mesmo tempo na seleção de progênes ou genitores, por equações do modelo misto (Resende et al. 1996). A prática de REML/BLUP (método da máxima verossimilhança restrita) é a de comparar os indivíduos e as variedades existentes dentro de uma pesquisa, como tempo e espaço. O teste permite uma correção dos efeitos adversos em que são estimados os componentes variáveis e os valores genéticos (Resende, 2002b).

Para Resende (2007), o método de modelagem mista permite selecionar, simultaneamente, características que podem apresentar vantagens, como, por exemplo, adaptabilidade genotípica, desbalanceamentos na pesquisa, variâncias heterogêneas e erros

experimentais dentro dos locais, gerando os valores para instabilidades e aplicação em diversos ambientes, e ainda libera a estabilidade e a adaptabilidade das plantas na seleção realizada por indivíduos para progênie, produzindo homogeneidade para a interação de genótipo x ambiente. O programa considera a herdabilidade da regressão e permite calcular o ganho genético com a seleção de três parâmetros, simultaneamente.

Para Henderson (1975), a utilização de equações via modelagem mista pode aumentar a eficiência da seleção e gerar hipótese do valor genotípico. A utilização de modelos mistos é necessária para obtenção de estimativas por meio do REMP (Patterson e Thompson, 1971). Panter e Allen (1995) relatam a importância da utilização de BLUP/REML no melhoramento; os autores avaliaram a eficiência dos quadrados mínimos e do método BLUP na identificação de linhagens superiores e simularam o desbalanceamento e balanceamento dos dados. Os resultados obtidos observaram que BLUP apresenta menor erro padrão e maior desempenho dos genótipos avaliados.

O programa estatístico Selegen - REML/BLUP foi delineado para plantas anuais e perenes, para plantas autógamas e alógamas e demais exemplos; o Selegen aborda de forma específica tópicos muito importantes, como o de seleção recorrente, delineamento de dados experimentais e de cruzamentos, como também o sistema de propagação do material melhorado. Meyer e Kirkpatrick (2005) citam a importância do programa para os principais itens ao nível genético.

REFERÊNCIAS

ALLARD, R.W. **Principles of plant breeding**. New York: J. Wiley, 1999. 254p.

ALMEIDA, L.A.; KIIHL, R.A.S.; ABDELNOOR, R.V. Melhoramento da soja. In: ABREU, A.F.B.; GONÇALVES, F.M.A.; MARQUES, O.G.; RIBEIRO, P.H.E. (Ed.). **Simpósio sobre Atualização em Genética e Melhoramento de Plantas**. Lavras: Editora UFLA-GEN, 1997. p.09-55.

BLACK, R.J. Complexo soja: fundamentos, situação atual e perspectivas. In: CÂMARA, G.M.S. (Ed.). **Soja: tecnologia e produção II**. Piracicaba: Editora ESALQ/LPV, 2000. p.01-18.

BONETTI, L.P. Distribuição da soja no mundo: origem, história e distribuição. In: MIYASAKA, S.; MEDINA, J.C. (Ed.). **A soja no Brasil**. Campinas: Editora ITAL, 1981. p.1-6.

BORÉM, A. **Melhoramento de plantas**. Viçosa: Editora UFV, 1997. 547p.

BORÉM, A.; MIRANDA, G.V. **Melhoramento de plantas**. Viçosa: Editora UFV, 2005. 525p.

CARVALHO, F.I.F.; LORENCETTI, C.; MARCHIORO, V.S.; SILVA, S.A. **Condução de populações no melhoramento genético de plantas**. Pelotas: Editora UFPEL, 2008. 288p.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira de grãos** - Monitoramento agrícola, Brasília, DF, v.4, safra 2016/17, n.5, 2017.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira de grãos**, Brasília, DF, v.8, safra 2020/21, n.7, 2021.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Prévia: Perspectivas para a agropecuária**. Diretoria de política agrícola e informações: Superintendência de gestão da oferta. Grãos v.6, safra 2018/2019, 2018.

COSTA, L.C.; COSTA, M.H. Um modelo para se determinar a produtividade da cultura da soja. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 6, 1989, Maceió. **Anais**. Maceió: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 9p.

COSTA, M.M.; MAURO, A.O.D.; UNÊDA-TREVISOLI, S.H.; ARRIEL, N.H.C.; BÁRBARO, I.M.; MUNIZ, F.R.S. Ganho genético por diferentes critérios de seleção em populações segregantes de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.11, p.1095-1102, 2004.

CRUZ, C.D. **Princípios da genética quantitativa**. Viçosa: Editora UFV, 2005. 394p.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 1997. 390p.

DOBHAL, N.; RAGHUVANSHI, R.S. Physical characteristics and effect of germination on functional properties of black soybean (*Glycine max*). **Asian Journal of Dairy & Food Research**, Haryana, v.37, n.1, p.55-60, 2018.

DUARTE J.B.; VENCOVSKY, R. Estimation and prediction using linear mixed models: the ranking of means of genetic treatments. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.58, n.1, p.109-117, 2001.

EMBRAPA AGROPECUÁRIA OESTE. **A Embrapa Soja no contexto do desenvolvimento da soja no Brasil: histórico e contribuições**. DALL'AGNOL, A. Brasília: Embrapa Agropecuária Oeste, 2016. 73p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Documentos). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/142568/1/Livro-EmbrapaSoja-desenvolvimento-BR-OL.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2019.

EMBRAPA AGROPECUÁRIA OESTE. **Resultados do manejo integrado de pragas da soja na safra 2018/19 no Paraná**. CONTE, O. OLIVEIRA, F.T. HARGER, N. FERREIRA, B.S.C. ROGGIA, S. PRANDO, A.M. POSSAMAI, E.J. REIS, E.A. MARX, E.F. Londrina: Embrapa Agropecuária Oeste, 2019. 65p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Documentos, 416). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/201452/1/Doc-416-OL-2.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2019.

FEDERER, W.T. Augmented (hoonuiaku) designs. **Hawaiian Planters' Record**, Aiea, v.55, p.191-208, 1956.

FEHR, W.R. Principles of cultivar development: Theory and Techenique. Iowa State University: New York, 1939. 536p.

FREITAS, A.C.M. A Cultura da Soja no Brasil: O Crescimento da Produção Brasileira e o surgimento de uma Nova Fronteira Agrícola. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.7, n.12, p.1-12, 2011.

GARBUGLIO, D.D.; GERAGE, A.C.; ARAÚJO, P.M.; JUNIOR, N.S.F.; SHIOGA, P.S. Análise de fatores e regressão bissegmentada em estudos de estratificação ambiental e adaptabilidade em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.2, p.183-191, 2007.

HARTWIG, E.E.; KIIHL, R.A.S. Identification and utilization of a delayed flowering character in soybean for short-day conditions. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.2, n.2, p.145-151, 1979.

HENDERSON, C.R. Best linear unbiased estimation and prediction under a selection model. **Biometrics**, v.31, p.423-447, 1975.

IEMMA M. **Uso do melhor preditor linear não viesado (BLUP) em análises dialélicas e predição de híbridos**. 2003. 81p. Tese (Mestrado em Agronomia) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

MAIA, M.C.C.; RESENDE, M.D.V.; PAIVA, J.R.; CAVALCANTI, J.J.V.; BARROS, L.M. Seleção simultânea para produção, adaptabilidade e estabilidade genótípicas em clones de cajueiro, via modelos mistos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.39, n.1, p.43-50, 2009.

MENGISTU, A.; RAY, J.D.; SMITH, J.R.; ARELLI, P.R.; BELLALOU, N.; CHEN, P.; SHANNON, G.; BOYKIN, D. Effect of charcoal rot on selected putative drought tolerant soybean genotypes and yield. **Crop Protection**, Stoneville, v.105, p.90-101, 2018.

MEYER, K; KIRKPATRICK, M. Restricted maximum likelihood estimation of genetic principal components and smoothed covariance matrices. **Genetics, Selection, Evolution**, v.37, p.1-30, 2005.

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.

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

NOGUEIRA, A.P.O.; SEDIYAMA, T.; GOMES, J.D. Avanços no melhoramento genético da cultura da soja nas últimas décadas. In: LEMES, E; CASTRO, L.; ASSIS, R. (Ed.) **Doenças da soja: Melhoramento Genético e Técnicas de Manejo**. Campinas: Millennium Editora, 2015. p.159-178.

PANTER, D.M.; ALLEN, F.L. Using best linear unbiased predictions to enhance breeding for yield in soybean: I. Choosing parents. **Crop Science**, Madison, v.35, p.397-405, 1995.

PATTERSON, H.D.; THOMPSON, R. Recovery of inter-block information when block sizes are unequal. **Biometrika**, v.58, p.545-554, 1971.

PINHEIRO, L.C.M.; GOD, P.I.V.G.; FARIA, V.R.; OLIVEIRA, A.G.; HASUI, A.A.; PINTO, E.H.G.; ARRUDA, K.M.A.; PIOVESAN, N.D.; MOREIRA, M.A. Parentesco na seleção para produtividade e teores de óleo e proteína de soja via modelos mistos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.48, p.1246-1253, 2013.

PINTO, R.J.B.; **Introdução ao Melhoramento Genético de Plantas**. Maringá: Editora Eduem, 2009. 351p.

RAMALHO, M.A.P.; ARAÚJO, L.C.A. Breeding self-pollinated plants. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v.11, n.1, p.1-7, 2011.

REIS, E.F.; REIS, M.S.; CRUZ, C.D.; SEDIYAMA, T. Comparação de procedimentos de seleção para produção de grãos em populações de soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.3, p.685-692, 2004.

RESENDE, M.D.V. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica – Colombo Embrapa Florestas, 2002a. 975p.

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

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

REZENDE, P.M.; CARVALHO, E.A. Avaliação de cultivares de soja [*Glycine max* (L.) Merrill] para o sul de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.31, n.6, p.1616-1623, 2007.

RESENDE, M.D.V.; PRATES, D.F.; JESUS, A.; YAMADA, C.K. Estimação de componentes de variância e predição de valores genéticos pelo método da máxima verossimilhança restrita (REML) e melhor predição linear não viciada (BLUP) em Pinus. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, v.32, n.33, p.18-45, 1996.

RIBEIRO, D.M.; CORRÊA, P.C.; RODRIGUES, D.H.; GONELI, A.L.D. Análise da variação das propriedades físicas dos grãos de soja durante o processo de secagem. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.25, n.3, p.611-617, 2005.

ROCHA, M.D.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.1, p.69–81, 1999.

SEARLE, S.R.; CASELLA, G.; MCCULLOCH, C.E. **Variance components**. New York: John Wiley e Sons, 1992. 501p.

SEDIYAMA, T. **Tecnologia de produção e usos da soja**. Londrina: Editora Mecnas, 2009. 314p.

SEDIYAMA, T. **Produtividade da soja**. Londrina: Editora Mecnas, 2016. 310p.

SEDIYAMA, T.; TEIXEIRA, R.C.; REIS, M.S. Melhoramento da soja. In: BORÉM, A. (Ed.). **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa: Editora da UFV, 1999. p.487-533.

SEDIYAMA, T.; SILVA, F.; BORÉM, A. **Soja: do plantio à colheita**. Viçosa: Editora UFV, 2015. 333p.

USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Production, Supply and Distribution (PSD) *on line*. 2020. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/advQuery>. Acesso em: 19 jan. 2021.

VAVILOV, N. **Studies on the origin of cultivated plants**. Leningrad: Institute of Applied Botany and Plant Breeding, 1926, 78p.

VENCATO, A.Z. **Anuário Brasileiro da Soja 2010**. Santa Cruz do Sul: Gazeta Santa Cruz, 2010. 144p.

VERNETTI, F.J. Genética da soja; características qualitativas. In: VERNETTI, F.J. (Ed.). **Soja: Genética e Melhoramento**. Campinas: Editora Fundação Cargil, v.2, 1983. p.93-124.

WIJEWARDANA, C.; REDDY, K.R.; BELLALLOUI, N. Soybean seed physiology, quality, and chemical composition under soil moisture stress. **Food Chemistry**, v.278, p.92-100, 2019.

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