

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CAMPUS DE CHAPADÃO DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

LUIZ RENATO CADORE

**SELEÇÃO DE LINHAGENS DE SOJA NA REGIÃO
EDAFOCLIMÁTICA 301**

Orientador: Prof. Dr. Paulo Eduardo Teodoro

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia, área de concentração: Produção Vegetal.

CHAPADÃO DO SUL – MS

2020



Serviço Público Federal
Ministério da Educação
Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

DISCENTE: Luiz Renato Cadore

ORIENTADOR: Paulo Eduardo Teodoro

TÍTULO: Seleção de Linhagens de Soja na Região Edafoclimática 301

Prof. Dr. Paulo Eduardo Teodoro
Presidente

Prof. Dr. Jorge Gonzalez Aguilera

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo

Chapadão do Sul, 30 de Novembro de 2020.



Serviço Público Federal
Ministério da Educação
Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

DISCENTE: Luiz Renato Cadore

ORIENTADOR: Dr. Paulo Eduardo Teodoro

TÍTULO: Seleção de linhagens de soja na região edafoclimática 301

AVALIADORES:

Prof. Dr. Presidente Paulo Eduardo Teodoro

Prof. Dr. Jorge Gonzalez Aguilera

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo

Chapadão do Sul, 30 de Novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Paulo Eduardo Teodoro, Professor do Magisterio Superior**, em 30/11/2020, às 08:42, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Jorge Gonzalez Aguilera, Professor do Magisterio Superior - Visitante**, em 30/11/2020, às 08:54, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Alan Mario Zuffo, Professor do Magisterio Superior - Visitante**, em 30/11/2020, às 09:06, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

AGRADECIMENTOS

Meus agradecimentos ao meu Orientador, Professor Paulo Eduardo Teodoro, pela grande oportunidade concebida, compartilhando ideias e permitindo realização de projetos de extrema importância para sociedade.

Aos professores da UFMS-CPCS, do curso de agronomia e mestrado em especial, ao Professor Cid, Professora Larissa e Professor Fábio pela troca de conhecimento.

Aos colegas de mestrado, em especial às amigas Ariane e Aline.

Ao grupo de pesquisa GEMP.

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Resumo da análise de variância individual e conjunta para a produtividade de grãos de linhagens de soja avaliadas em Aporé e Chapadão do Sul..... **17**
- Tabela 2.** Valores de ganho com diferentes estratégias de seleção para a produtividade de grãos de linhagens de soja avaliadas em Aporé e Chapadão do Sul..... **18**

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Condições climáticas observadas na área experimental do município de Chapadão do Sul (A) e Aporé (B)..... **15**
- Figura 2.** Valores de Pi para as linhagens calculados com base na produtividade de grãos obtida em Aporé e Chapadão do Sul..... **20**
- Figura 3.** Valores médios da produtividade de grãos das linhagens avaliadas em Aporé e Chapadão do Sul. Números em vermelho indicam as linhagens F_{2:6} de soja selecionadas com base no Pi..... **21**

RESUMO

Diante do expressivo desenvolvimento da sojicultura e a alta prospecção de cultivares de soja que atendam esta demanda, o objetivo deste trabalho é identificar linhagens de soja que apresentem ampla adaptabilidade e estabilidade fenotípica adequada à região edafoclimática 301 (REC 301), pertencente a macrorregião sojícola 3 (MRS 3). Na safra 2018/19 foram conduzidos dois experimentos para avaliar 43 linhagens $F_{2:6}$ no município de Chapadão do Sul-MS (UFMS/CPCS), e Aporé-GO (Fazenda Vale do Boi). Os experimentos foram conduzidos em delineamento de blocos casualizados com duas repetições. Cada unidade experimental consistiu de uma linha com três metros de comprimento, com espaçamento de 0,45 m entre fileiras e densidade de 15 plantas por metro. A produtividade de grãos na primeira safra foi avaliada pela colheita e trilha de cada linha, correção da umidade para 13% e extrapolação para kg ha^{-1} . Para verificar a presença de variabilidade genética entre as linhagens em cada local, os dados foram submetidos a análise de variância. Foram testadas três estratégias de seleção: seleção direta, seleção indireta e seleção utilizando o Pi proposto por Lin e Binns (1988). Para a seleção indireta, é possível que ao realizar a seleção em Chapadão do Sul os ganhos sejam maiores no Aporé. Contudo, ao utilizarmos a estratégia de seleção baseado no Pi, nota-se ganhos mais equilibrados em relação a seleção indireta. Dentre as 43 linhagens selecionadas, 10 apresentaram estimativas de valores de Pi. Dessa forma, estes genótipos possuem adaptabilidade e estabilidade fenotípica no Aporé e em Chapadão do Sul.

Palavras-chave: Ganhos de seleção. *Glycine max*. Interação genótipos x ambientes. Seleção Direta. Seleção indireta.

ABSTRACT

In view of the expressive development of soybean and the high prospecting of soybean cultivars that meet this demand, the objective of this work is to identify soybean strains that have broad adaptability and phenotypic stability suitable for the edaphoclimatic region 301 (REC 301), belonging to the soybean macro-region 3 (MRS 3). In the 2018/19 harvest, two experiments were conducted to evaluate 43 F₂: 6 strains in the municipality of Chapadão do Sul-MS (UFMS / CPCS), and Aporé-GO (Fazenda Vale do Boi). The experiments were conducted in a randomized block design with two replications. Each unit consists of a line three meters long, with a spacing of 0.45 m between rows and a density of 15 plants per meter. Grain productivity in the first harvest was assessed by harvesting and trailing each row, correcting humidity to 13% and extrapolating to kg há⁻¹. To check for the presence of genetic variability between strains at each location, data were propagated from variance. Three selection strategies were tested: direct selection, indirect selection and selection using the Pi proposed by Lin e Binns (1988). For an indirect selection, it is possible that the biggest gains in Aporé can be made in Chapadão do Sul. However, when using a Pi-based selection strategy, the most balanced gains in relation to indirect selection are noted. Among 43 selected strains, 10 had the lowest estimated Pi values. Thus, these genotypes have adaptability and phenotypic stability in Aporé and Chapadão do Sul.

Keywords: Direct Selection. Indirect selection. Genotype x environment interaction. *Glycine max.*. Selection gains

SUMÁRIO

CAPÍTULO - SELEÇÃO DE LINHAGENS DE SOJA NA REGIÃO EDAFOCLIMÁTICA 301	9
RESUMO	9
ABSTRACT	10
INTRODUÇÃO	11
MATERIAL E MÉTODOS.....	13
RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
CONCLUSÕES	23
REFERÊNCIAS	23

CAPÍTULO

SELEÇÃO DE LINHAGENS DE SOJA NA REGIÃO EDAFOCLIMÁTICA 301

RESUMO

Diante do expressivo desenvolvimento da sojicultura e a alta prospecção de cultivares de soja que atendam esta demanda, o objetivo deste trabalho é identificar linhagens de soja que apresentem ampla adaptabilidade e estabilidade fenotípica adequada à região edafoclimática 301 (REC 301), pertencente a macrorregião sojícola 3 (MRS 3). Na safra 2018/19 foram conduzidos dois experimentos para avaliar 43 linhagens F_{2:6} no município de Chapadão do Sul-MS (UFMS/CPCS), e Aporé-GO (Fazenda Vale do Boi). Os experimentos foram conduzidos em delineamento de blocos casualizados com duas repetições. Cada unidade experimental consistiu de uma linha com três metros de comprimento, com espaçamento de 0,45 m entre fileiras e densidade de 15 plantas por metro. A produtividade de grãos na primeira safra foi avaliada pela colheita e trilha de cada linha, correção da umidade para 13% e extrapolação para kg ha⁻¹. Para verificar a presença de variabilidade genética entre as linhagens em cada local, os dados foram submetidos a análise de variância. Foram testadas três estratégias de seleção: seleção direta, seleção indireta e seleção utilizando o Pi proposto por Lin e Binns (1988). Para a seleção indireta, é possível que ao realizar a seleção em Chapadão do Sul os ganhos sejam maiores no Aporé. Contudo, ao utilizarmos a estratégia de seleção baseado no Pi, nota-se ganhos mais equilibrados em relação a seleção indireta. Dentre as 43 linhagens selecionadas, 10 apresentaram estimativas de valores de Pi. Dessa forma, estes genótipos possuem adaptabilidade e estabilidade fenotípica no Aporé e em Chapadão do Sul.

Palavras-chave: Ganhos de seleção. *Glycine max*. Interação genótipos x ambientes. Seleção Direta. Seleção indireta.

SELEÇÃO DE LINHAGENS DE SOJA NA REGIÃO EDAFOCLIMÁTICA 301

ABSTRACT

In view of the expressive development of soybean and the high prospecting of soybean cultivars that meet this demand, the objective of this work is to identify soybean strains that have broad adaptability and phenotypic stability suitable for the edaphoclimatic region 301 (REC 301), belonging to the soybean macro-region 3 (MRS 3). In the 2018/19 harvest, two experiments were conducted to evaluate 43 F₂: 6 strains in the municipality of Chapadão do Sul-MS (UFMS / CPCS), and Aporé-GO (Fazenda Vale do Boi). The experiments were conducted in a randomized block design with two replications. Each unit consists of a line three meters long, with a spacing of 0.45 m between rows and a density of 15 plants per meter. Grain productivity in the first harvest was assessed by harvesting and trailing each row, correcting humidity to 13% and extrapolating to kg há⁻¹. To check for the presence of genetic variability between strains at each location, data were propagated from variance. Three selection strategies were tested: direct selection, indirect selection and selection using the Pi proposed by Lin e Binns (1988). For an indirect selection, it is possible that the biggest gains in Aporé can be made in Chapadão do Sul. However, when using a Pi-based selection strategy, the most balanced gains in relation to indirect selection are noted. Among 43 selected strains, 10 had the lowest estimated Pi values. Thus, these genotypes have adaptability and phenotypic stability in Aporé and Chapadão do Sul.

Keywords: Direct Selection. Indirect selection. Genotype x environment interaction. *Glycine max*. Selection gains

INTRODUÇÃO

Em 2019, 113,4 milhões de toneladas de soja [*Glycine max* (L) Merrill] foram produzidas em 35,8 milhões de hectares, respectivamente no Brasil (CONAB, 2019). Isso garante ao país posição de destaque no cenário mundial de produção desta oleaginosa. Dentre os estados nacionais, Goiás e Mato Grosso do Sul produziram juntos, aproximadamente 36% da soja nacional na safra 2018/2019 (CONAB, 2019), ranqueando-os como quarto e quinto maiores produtores deste grão, respectivamente no Brasil. A prospecção do aumento de área cultivada e produtividade destes estados juntos é de 5,8% e 10,9% (CONAB, 2019), o que aliado à extensa área destinada a produção de pastagens, cerca de 30,6 milhões de hectares reitera a potencialidade para o aumento de produção, e avanço de áreas inéditas à agricultura (IBGE, 2017).

Para atender a demanda da população mundial por alimentos é necessário o crescimento de 2,4% ao ano da produção agrícola até 2050 (FAO, 2009). Porém as estimativas anuais de crescimento no rendimento médio dos principais produtos agrícolas como trigo (*Triticum spp.*), milho (*Zea mays*), soja (*Glycine max*) e arroz (*Oryza spp.*), não deverá atender essa prospecção, que é de apenas 1,6% ao ano (Ray et al., 2013). A soja, por exemplo, apresenta crescimento de rendimento médio superior a 2% ao ano em países como China, Coreia do Norte, África do Sul, Argentina Brasil, Venezuela e Uruguai, entretanto o valor médio global é de 1,3% (Ray et al., 2013).

A intensa demanda pelo aumento de produtividade na soja faz com que os programas de melhoramento sejam cada vez mais dinâmicos para atender as exigências do mercado. Segundo o banco de dados CultivarWeb (2020), do Registro Nacional de Cultivares do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, mais de 2000 cultivares são oficialmente registradas no Brasil em 2019. Enquanto que no mundo há aproximadamente 230.000 acessos (Wysmierki; Vello, 2013). Apesar do tamanho, a base genética da soja no país é muito estreita, sendo 14 ancestrais responsáveis por mais de 90% da variabilidade genética presente (Dubey, 2019). Isso reflete de forma negativa, pois a diversidade genética é qualificada pela herdabilidade, e cruzamentos com alta herdabilidade podem garantir descendentes com alto desempenho de produtividade de grãos (Rocha et al., 2018). O decréscimo ao longo da última década da base genealógica das cultivares registradas é divergente ao encontrado em países como a China, que realizaram introgressão de novos ancestrais ao longo do tempo em seus programas de melhoramento.

As modernas técnicas de melhoramento tornam a criação de eventos de transgenia mais efetivos e auxiliam na seleção de novos genótipos, sendo possível atender de forma mais

rápida a demanda do setor produtivo, podendo citar: a piramidação genômica, seleção assistida por marcadores, edição e seleção genômica, duplo haploides (Wysmierki; Vello, 2013) e “oomicas” (Watson et al., 2018), além do método speed breeding que reduz o tempo na obtenção das gerações nas culturas (Dubey et al., 2018)

Diante do expressivo desenvolvimento da sojicultura e a alta prospecção de cultivares de soja que atendam esta demanda, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), têm como objeto de normatização ensaios de valor de cultivo e uso (VCU) (BRASIL, 1998) que visam estratificar ambientes para estudo da interação genótipos e ambientes (GxA) no processo e registro de novas cultivares, uma vez que a variabilidade ambiental das regiões produtoras é elevada. Define-se assim que a rede experimental deva incluir locais em cada região edafoclimática (estrato ambiental ou mega-ambiente) que se constitui por um grupo de localidades regionalizadas apresentando condições ambientais semelhantes (BRASIL, 2012).

A Região Edafoclimática 301 (REC 301) é definida pela região do Centro Norte do Mato Grosso e Sudoeste Goiano, totalizando na safra de 2017/2018 uma produção de 4,9 milhões de toneladas (IBGE 2017) em 3,6 milhões de hectares, equivalendo à 12% da produção nacional. Essa expressividade torna a região um foco potencial para estudos da interação GxA, como observado por Anselmo (2008) ao testar desempenho diferencial de cultivares na mesma região, visto também a possibilidade de interações complexas ou cruzadas nestes ambientes (Negash et al., 2013). O alto nível tecnológico, aliado às extensas áreas da região, com módulos médios de 900 ha por propriedades (IBGE 2019), permite também que o estudo de adaptabilidade fenotípica seja significativo quando se verifica sua interação à estabilidade produtiva, possibilitando analisar o posicionamento de linhagens, e assim aferir quanto ao real potencial de seu uso como novas cultivares.

A seleção de genótipos de soja superiores é um processo complexo porque os traços agronômicos de importância econômica são de natureza quantitativa, de baixa herdabilidade e sendo alguns correlacionados entre si (Nogueira et al., 2012). Dessa forma a seleção direta apresenta menor eficiência, pois ao utilizar poucos caracteres agronômicos para seleção, genótipos com características indesejadas podem ser selecionados. Assim, o índice de seleção tem como vantagem, contemplar valores de caracteres múltiplos, gerando um valor que melhor possibilita avaliar e selecionar os genótipos em questão (Cruz et al., 2012) além de apresentar ganho de seleção global maior que a seleção direta (Bizari, 2017). Entretanto, ao avaliar caracteres individuais, a seleção direta apresenta melhor desempenho.

Essa pesquisa teve como objetivo identificar linhagens de soja que apresentam ampla adaptabilidade e estabilidade fenotípica adequada á região edafoclimática 301 (REC 301), pertencente a macrorregião sojícola 3 (MRS 3).

MATERIAL E MÉTODOS

Na safra 2018/19 foram conduzidos dois experimentos para avaliar 43 linhagens F_{2:6} no município de Chapadão do Sul-MS, e Aporé-GO, ambas localizadas na região edafoclimática 301. O primeiro experimento foi conduzido na área experimental da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campus de Chapadão do Sul (18°46'26"S, 52°37'28"O) e altitude média de 810 m), localizado no município de Chapadão do Sul-MS. O clima da região, segundo a classificação climática de Köppen, é do tipo Aw, definido como tropical de savana, com estação chuvosa no verão e seca no inverno. O solo do local é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico argiloso.

O segundo experimento foi conduzido na Fazenda Vale do Boi (18°46'51"S, 52°6'45"W e altitude média de 710 m), localizada no município de Aporé-GO. O clima da região, segundo a classificação climática de Köppen, é do tipo Aw, definido como tropical de savana, com estação chuvosa no verão e seca no inverno. O solo do local é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico argiloso.

Em Chapadão do Sul, o solo da área experimental apresentou as características químicas na camada de pH (H₂O) = 6,2; Al trocável (cmol_c dm⁻³) = 0,0; Ca+Mg (cmol_c dm⁻³) = 4,31; P (mg dm⁻³) = 41,3; K (cmol_c dm⁻³) = 0,2; MO (g dm⁻³) = 19,74; V (%) = 45; Soma de bases (cmol_c dm⁻³) = 2,3; CTC (cmol_c dm⁻³) = 5,1.

No município de Aporé, o solo da área experimental apresentou, no momento do plantio, características químicas na camada de 0 - 0,20 m: pH (H₂O) = 5,4; Al e H+Al (cmol_c dm⁻³) = 0,08 e 3,0; Ca+Mg (cmol_c dm⁻³) = 2,7; P (mg dm⁻³) = 15,5; K (cmol_c dm⁻³) = 0,2; V (%) = 49,2; Soma de bases (cmol_c dm⁻³) = 2,9; CTC (cmol_c dm⁻³) = 5,9. Três meses antes da semeadura, a saturação por bases (V%) do solo da área experimental, em Aporé e Chapadão do Sul foi elevada para 60% por meio de uma calagem.

Em Chapadão do Sul e Aporé, a semeadura foi realizada em 13/11/2018 e 03/11/2018 respectivamente. Para implantação do experimento, foi utilizado preparo convencional do solo, com uma aração e duas gradagens (arado de aiveca e grade niveladora). A abertura e a adubação das linhas foram realizadas de forma mecanizada com uma semeadora de cinco linhas. A adubação de base utilizada nos dois locais foi 300 kg ha⁻¹ da fórmula completa 04-14-08.

Os experimentos foram conduzidos em delineamento de blocos casualizados com duas repetições. Cada unidade experimental consistiu de uma linha com três metros de comprimento, com espaçamento de 0,45 m entre fileiras e densidade de 15 plantas por metro. As sementes foram tratadas com fungicida (piraclostrobina + metil tiofanato) e inseticida (fipronil), na dose de 200 mL do produto comercial para cada 100 kg de sementes afim de se garantir proteção contra o ataque de pragas. As sementes foram inoculadas com bactérias do gênero *Bradyrhizobium japonicum*, sendo utilizada a dose de 200 mL de inoculante líquido na concentração de 5 bilhões de bactérias por ml, para cada 100 kg de sementes. O controle de plantas daninhas, pragas e doenças foi realizado conforme recomendações técnicas para a cultura. As condições climáticas observadas na área experimental no município de Aporé e Chapadão do Sul estão apresentadas na Figura 1.

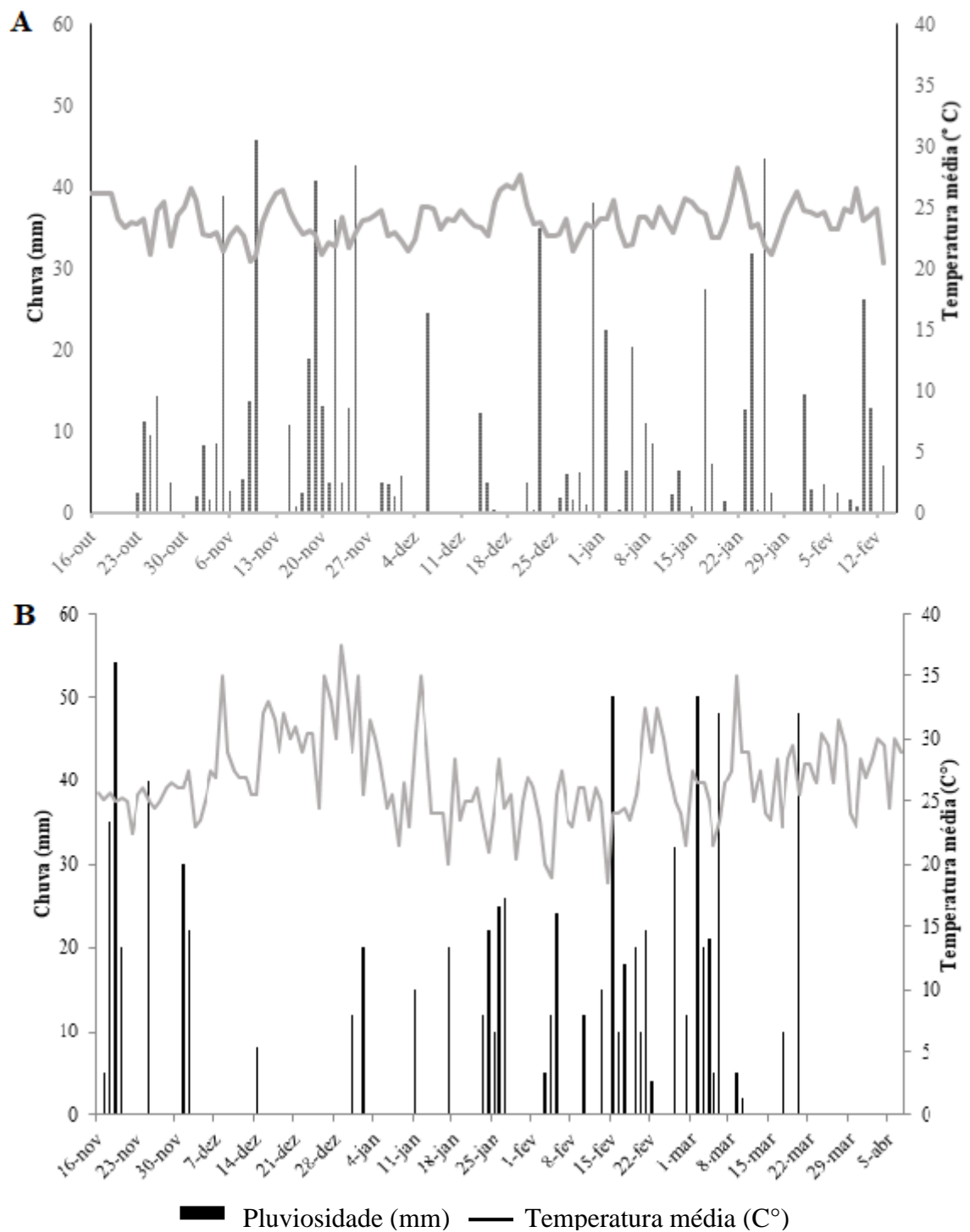


Figura 1. Condições climáticas observadas na área experimental do município de Chapadão do Sul (A) e Aporé-GO (B).

A produtividade de grãos na primeira safra foi avaliada pela colheita e trilha de cada linha, correção da umidade para 13% e extrapolação para kg ha^{-1} . Para verificar a presença de

variabilidade genética entre as linhagens em cada local, os dados foram submetidos a análise de variância conforme modelo estatístico, descrito na Equação 1:

$$Y_{ij} = \mu + B_j + G_i + \varepsilon_{ij} \quad (1)$$

em que: Y_{ij} é o valor do caráter para o i -ésima linhagem no j -ésimo bloco; μ é a média geral; B_j é o efeito do j -ésimo bloco considerado como fixo; G_i é o efeito da i -ésima linhagem $F_{2:6}$ considerado como aleatório; ε_{ij} é o erro aleatório.

Posteriormente, foi realizada a análise conjunta conforme o modelo descrito na Equação 2:

$$Y_{ijk} = \mu + B/E_{jk} + G_i + E_j + GxE_{ij} + e_{ijk} \quad (2)$$

em que: Y_{ijk} é a observação no k -ésimo bloco, avaliada na i -ésima linhagem e j -ésimo ambiente; μ é a média geral dos experimentos; B/E_{jk} é o efeito do bloco k dentro do ambiente j ; G_i é o efeito da i -ésima linhagem $F_{2:6}$ considerado como aleatório; E_j é o efeito do j -ésimo ambiente considerado como fixo; GxE_{ij} é o efeito aleatório da interação entre a linhagem i e o ambiente j considerado como aleatório; e_{ijk} é o erro aleatório associado à observação Y_{ijk} .

Foram testadas três estratégias de seleção: seleção direta, seleção indireta e seleção utilizando o P_i proposto por Lin & Binns (1988). Os ganhos obtidos pela seleção direta (estratégia 1) praticada em cada ambiente foram estimados pela Equação 3.

$$GS_i = DS_i h_i^2 \quad (3)$$

em que: GS_i é o ganho com seleção direta praticada no ambiente i ; DS_i é o diferencial de seleção com base nos indivíduos de melhor desempenho no ambiente i ; h_i^2 é a herdabilidade da produtividade de grãos no ambiente i .

Os ganhos obtidos pela seleção indireta (estratégia 2) praticada em cada ambiente foram estimados pela Equação 4.

$$GS_{i(j)} = DS_{i(j)} h_i^2 \quad (4)$$

em que: $GS_{i(j)}$ é o ganho no ambiente i , com seleção baseada no ambiente j ; $DS_{i(j)}$ é o diferencial de seleção no ambiente i , no qual os indivíduos selecionados são os de melhor desempenho no ambiente j ; h_i^2 é a herdabilidade da produtividade de grãos no ambiente i .

Os ganhos obtidos pela seleção com base nos menores valores de P_i (estratégia 3) foram estimados pela Equação 5.

$$P_i = \frac{\sum_{j=1}^e (Y_{ij} - Y_{mj})^2}{2e} \quad (5)$$

em que: Y_{ij} é a produtividade do i -ésimo genótipo no j -ésimo ambiente; Y_{mj} é a estimativa do caráter do genótipo hipotético ideal no ambiente j ; e é o número de ambientes.

As análises estatísticas foram realizadas pelo Software de Estatística Genes, (Cruz, 2013).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise de variância individual e conjunta para a produtividade de grãos estão contidos na Tabela 1. É possível verificar que houve variabilidade genética entre as linhagens avaliadas no Aporé e em Chapadão do Sul. Esses resultados são importantes, pois demonstram possibilidade de seleção de genótipos promissores. Pelo fato da soja ser um paleopoliplóide que sofreu dois eventos de poliploidia ao longo de 5 milhões de anos (Adams; Wendel, 2018), mais de 75% dos genes têm mais de uma cópia, com a maioria deles apresentando diferentes expressões fenotípicas (Roulin et al., 2012). A diversidade genética e a variabilidade fenotípica é o resultado desta expressão gênica diferencial ao longo dos ambientes (Friedrich, 2016).

Tabela 1. Resumo da análise de variância individual e conjunta para a produtividade de grãos de linhagens de soja avaliadas em Aporé e Chapadão do Sul.

Fonte de variação	Aporé	Chapadão do Sul	Conjunta
Blocos	29,06 ^{ns}	28,89 ^{ns}	28,98 ^{ns}
Genótipos (G)	1146564,08*	3227811,65*	2033961,88*
Ambiente (E)	---	---	5634490,18*
GxE	---	---	2340413,85*
Resíduo	1279,07	2523,95	1278,97
Coeficiente de variação (%)	10,67	9,89	10,01
Herdabilidade	90,63	89,96	89,93

^{ns} e *: não significativo e significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

A interação genótipos x ambientes foi significativa apenas para análise conjunta e indica resposta diferencial das linhagens avaliadas nos dois locais. As estimativas do coeficiente de variação foram inferiores a 11% nas análises de variância individual e conjunta, o que representa alta acurácia seletiva de acordo com os critérios de Pimentel Gomes et al. (2009). A magnitude observada para estes valores é semelhante a observada por Castro (2018)

em Chapadão do Sul, e por Farias Neto & Vello (2001). A semelhança dos valores encontrados em ambos os locais revela padronização da condução dos experimentos.

A herdabilidade obtida no experimento é semelhante à apresentada por Castro (2018) que constataram um valor de 87,06% ao avaliarem a produtividade de grãos em linhagens avançadas de soja cultivadas em Chapadão do Sul. A magnitude de valores de herdabilidade é elevada, muito diferente, por exemplo, do encontrado em populações segregantes F₂ por Rocha et al. (2018), que obteve valores de 65,9% e 60% para produtividade.

A Tabela 2 contém as estimativas dos ganhos genéticos com as diferentes estratégias de seleção utilizadas nesse trabalho. É possível verificar que a seleção direta em cada local proporciona os maiores ganhos para a produtividade de grãos (31,19% no Aporé e 42,21% em Chapadão do Sul). Ao utilizar índice de seleção, direto e indireto na metodologia de avanço de geração Speed Breeding (Watson et al., 2019) também verifica-se elevada performance da seleção direta em relação a indireta, assim como elevada eficiência da seleção direta para produtividade em relação a indireta por Ziyomo et al. (2013). Entretanto, ao avaliar ambientes sem interferência de estresses abióticos, como o caso de experimento em questão, a seleção indireta pode ser muito útil (Ziyomo et al., 2013).

Tabela 2. Valores de ganho com diferentes estratégias de seleção para a produtividade de grãos de linhagens de soja avaliadas em Aporé e Chapadão do Sul.

Estratégia de seleção	Seleção em	Ganho em	Ganho (kg ha ⁻¹)	Ganho (%)
Direta e Indireta	Aporé	Aporé	1044,59	31,19
		Chapadão do Sul	282,70	8,44
Indireta	Chapadão do Sul	Aporé	531,06	14,31
		Chapadão do Sul	1566,58	42,21
Baseada no Pi	Simultânea	Aporé	683,93	20,42
		Chapadão do Sul	1083,64	29,20

Características quantitativas como a produtividade de grãos, apresentam baixa herdabilidade em gerações iniciais como F₂, e ao aplicar índices de seleção em gerações avançadas com F₆, o efeito do carácter sobre a variância fenotípica é muito maior (Medonça et al., 2020), o que possibilita utilizar os índices de seleção como apresentado neste trabalho, principalmente em gerações mais avançadas. Sendo assim, é recomendável ao longo da

seleção em populações segregantes, F_2 e F_4 a eliminação de famílias que apresentam menor produtividade de grãos (Carvalho et al., 2009).

Para a seleção indireta, é possível que ao realizar a seleção em Chapadão do Sul os ganhos sejam maiores no Aporé (14,31%) quando comparados a estratégica de seleção no Aporé e resposta em Chapadão do Sul (8,44%). Isso pode ser explicado pelo inferior desempenho dos materiais no primeiro local ao verificar a diferença da média geral dos genótipos avaliados nas duas localidades.

Um dos fatores prováveis do menor ganho de seleção indireta apresentado ao realizar seleção no Aporé com resposta em Chapadão do Sul é a condição climática adversa nos dois ambientes com diferença significativa pela interação GxE (Tabela 1). A diferença de altitude nos dois ambientes corrobora para essa variação, como verificado por Cucolloto et al. (2007) e por Hamawaki et al. (2018), além das condições climáticas apresentadas na Figura 1. Outra evidência que pode justificar esta diferença é a fertilidade apresentada nos diferentes locais. Em Aporé, segundo Ribeiro et al. (1999), os níveis nutricionais apresentados são muito inferiores ao nível ótimo demandado pela cultura da soja, o que pode proporcionar menor média geral de produtividade. Assim como, é possível haver resposta diferencial das linhagens à diferentes níveis de fertilidade, como observado por Andrade et al. (2020).

Contudo, ao utilizarmos a estratégia de seleção baseado no P_i , nota-se ganhos mais equilibrados em relação a seleção indireta. Isso ocorre porque o uso do P_i seleciona genótipos que reúnem simultaneamente alta produtividade, adaptabilidade e estabilidade fenotípica. A Figura 2 foi construída para demonstrar graficamente as estimativas de P_i para as linhagens $F_{2:6}$ avaliadas. Dentre essas, as linhagens 1, 2, 5, 13, 15, 16, 17, 19, 27 e 31 foram aquelas com menores estimativas, em que a seta representa até quais valores de P_i foram ideias para seleção. Dessa forma, estes genótipos possuem adaptabilidade e estabilidade fenotípica no Aporé e em Chapadão do Sul.

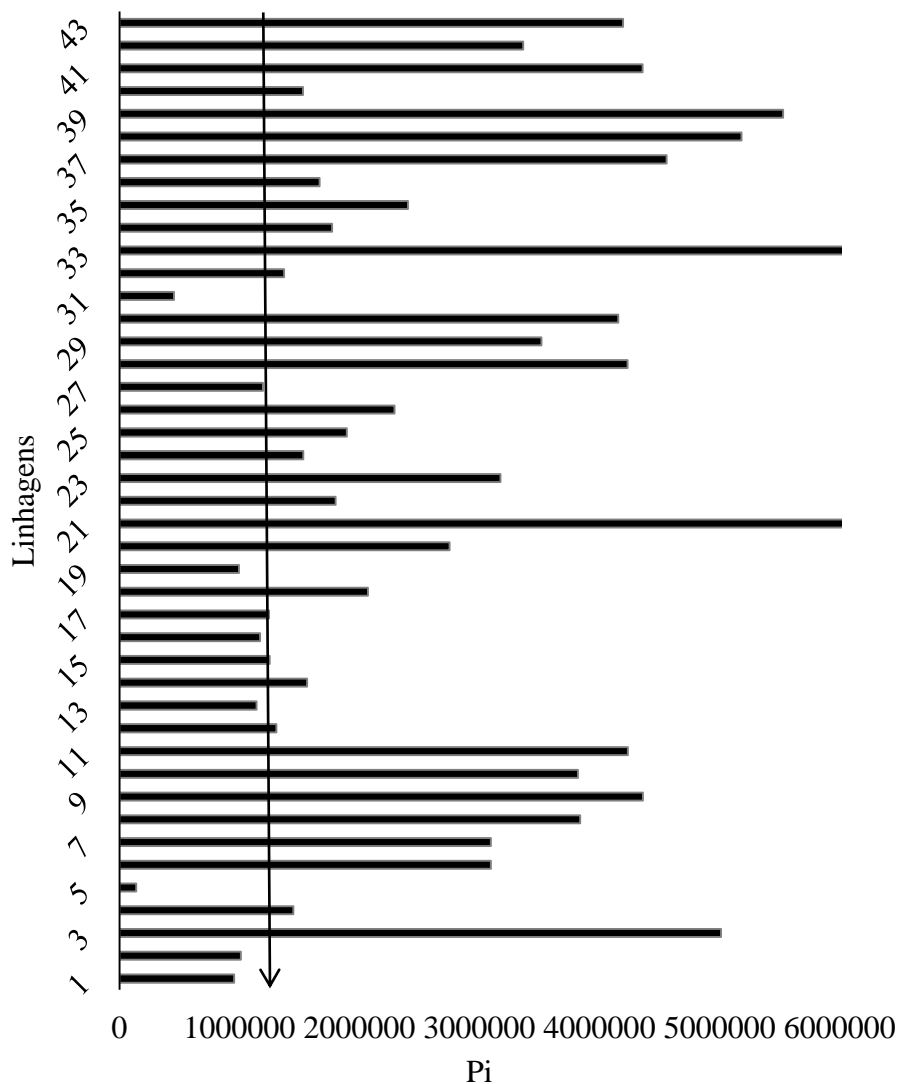


Figura 2. Valores de Pi para as linhagens calculados com base na produtividade de grãos obtida em Aporé e Chapadão do Sul.

A Figura 3 contém os dados de produtividade de grãos das linhagens $F_{2:6}$ avaliadas no Aporé e em Chapadão do Sul, além da média destes locais. De forma geral, é possível perceber que os genótipos apresentaram maior produtividade de grãos em Chapadão do Sul. Isso explica as maiores estimativas de ganho com a seleção direta e indireta neste local.

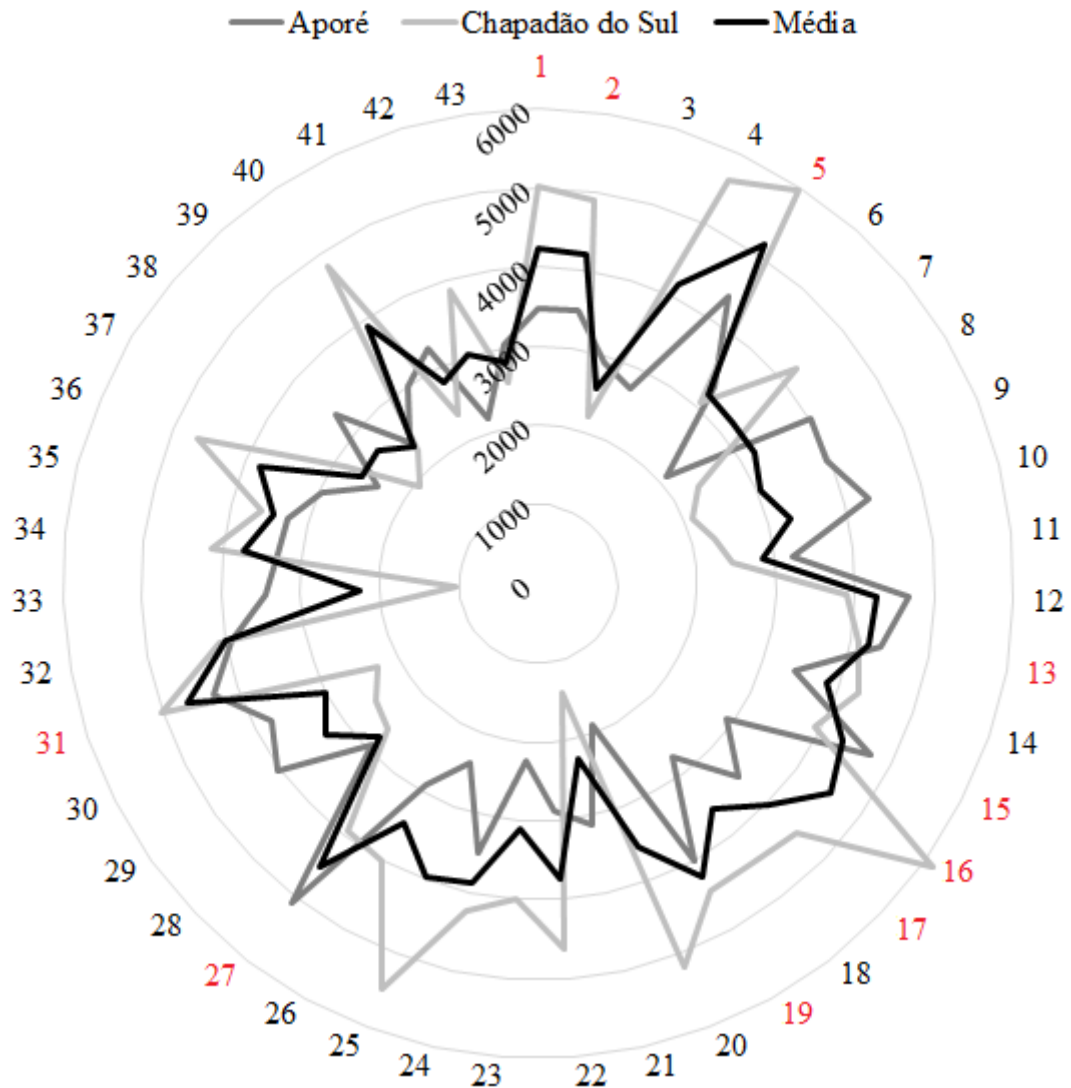


Figura 3. Valores médios da produtividade de grãos das linhagens avaliadas em Aporé e Chapadão do Sul. Números em vermelho indicam as linhagens F_{2:6} de soja selecionadas com base no Pi.

A estratégia da seleção indireta é muito bem ajustada para caracteres aditivos, e que possibilita ao melhorista contemplar na atividade de seleção, materiais que simultaneamente apresentem correlação positiva para as características avaliadas (Cruz et al., 2014). Ao utilizar o índice de seleção indireto, considerando apenas produtividade com intuito de avaliar a adaptabilidade do local ou compará-los, é possível que elementos inerentes do ambiente interfiram nos resultados, não estimando assim a simultaneidade dos ambientes. Pelas estimativas da estatística Pi, de Lin e Binns (1988), os menores valores de Pi geral, são os mais adaptados e estáveis. Considerando que estes 10 genótipos exibiram as melhores

produtividades médias e pequena contribuição para a interação, pode-se considerá-los superiores.

De acordo com Cruz e Carneiro (2006), esses resultados podem ser explicados pela forma como é estimado o índice de estabilidade P_i , que é o desvio da cultivar i em relação ao material de desempenho máximo em cada ambiente. Desta maneira, quanto menor o valor de P_i mais adaptado será o genótipo. Essa alta correlação entre média e estabilidade é uma característica do método de Lins e Binns (1988), pois associa estabilidade com a capacidade dos genótipos de apresentar o menor desvio em relação ao máximo, em todos os ambientes do estudo. Essa é considerada a maior vantagem desse método, pois consegue identificar os genótipos mais estáveis entre os mais produtivos, como observado em outras culturas, também por Farias et al. (1996), Daros et al. (2000), Scapim et al. (2000), Carbonell et al. (2002), Ferreira et al. (2004), Ledo et al. (2005), e Cargnelutti Filho et al. (2007). Portanto, essa estratégia se mostrou a melhor opção para seleção de genótipos de soja em múltiplos ambientes da região edafoclimática 301, macrorregião sojícola 3, apresentado no referente trabalho.

Chapadão do Sul é um município com expressiva produção agrícola em que programas de melhoramento de soja devem atender a demanda de alta produtividade local assim como a totalidade da região edafoclimática 301, que abrange municípios com diferentes interações climáticas e tipos de fertilidade. Ao analisar populações de soja $F_{2:4}$, e determinar a produtividade como critério único de seleção, o método de Lins e Binns (1988) permite englobar nesses diferentes ambientes materiais com adaptabilidade e estabilidade fenotípica para a região. Sendo possível assim, a recomendação de linhagens promissoras, que apresentam potencial como cultivares comerciais e de desempenho específico para a região.

Um grande gargalo para validar as linhagens selecionadas e permitir a disponibilização das mesmas como cultivares comerciais registradas pelo MAPA, é ampliar a rede de ensaio de no mínimo 3 ambientes na mesma região edafoclimática, assim como o período de realização de no mínimo 3 anos. Com aumento do número de ambientes testados, a estabilidade dos materiais é melhor avaliada e a seleção específica para a região edafoclimática 301 se torna maior abrangente. Dessa forma é possível atender os requisitos mínimos para determinação dos ensaios de VCU, e registrá-las no Registro Nacional de Cultivares (RNC).

CONCLUSÕES

As linhagens 1, 2, 5, 13, 15, 16, 17, 19, 27 e 31 são promissoras para a região edafoclimática 301 por apresentarem alta produtividade e estabilidade em Chapadão do Sul e Aporé.

Ainda são necessárias novas pesquisas para recomendar essas linhagens para entrada nos ensaios de valor de cultivo e uso para esta região edafoclimática.

REFERÊNCIAS

- ADAMS, K. L.; WENDEL, J. F. Polyploidy and genome evolution in plants. **Plant Biology**, v.8, p. 135-141, 2018.
- ANDRADE, C. A. et al. Physiological response and earliness of soybean genotypes to soil base saturation conditions. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. x, p. 1-7, 2020.
- ANSELMO, J. L. Seleção de populações de soja para precocidade e produtividade de grãos em Chapadão do Sul. **Dissertação de Mestrado em Agronomia-Faculdade de Engenharia da UNESP**, Ilha Solteira, 53 p. 2008.
- BIZARI, E. H. et al. Selection indices for agronomic traits in segregating populations of soybean. **Revista Ciencia Agronômica**, Fortaleza, v.48, p. 110-117, 2017.
- BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regionalização dos testes de valor de cultivo e uso e da indicação de cultivares de soja – Terceira aproximação**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: MAPA, 2012. 70p.
- BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Requisitos mínimos para determinação do valor de cultivo e uso de soja (Glicine max), para a inscrição no registro nacional de cultivares – RNC**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: MAPA, 1998. 7p.
- CARBONELL, S. A. M. et al. Adaptabilidade e estabilidade de produção de cultivares e linhagens de feijoeiro no Estado de São Paulo. **Bragantia**, v. 60, p. 69-77, 2002.
- CARGNELUTTI FILHO, A. et al. Comparação de métodos de adaptabilidade e estabilidade relacionados à produtividade de grãos de cultivares de milho. **Bragantia**, v. 66, p. 571-578, 2007.
- CARVALHO, A. D. F. et al. Evaluation of F2:4 and F4:6 progenies of soybeans and perspectives of using early generation testing for grain yield. **Bragantia**, v. 68, p. 857-861, 2009.

CASTRO, K. S. Seleção de populações de soja para precocidade e produtividade de grãos em Chapadão do Sul. **Dissertação de Mestrado em Agronomia-UFMS**, Chapadão do Sul, 20 p. 2018.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento safra brasileira: grãos, safra 2018/2019, v.6, quarto levantamento, 2019** Available in <<http://www.conab.gov.br/>> Acesso em: 02 de junho de 2019.

CRUZ C. D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum. Agronomy** v.35, p. 271-276, 2013.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Ed 2. Viçosa: UFV, 2006, 586 p.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C.; REGAZZI, A. J. **Modelos Biométricos Aplicados ao Melhoramento Genético - Volume 2**. Ed. 3. Viçosa: Editora UFV, 2014. 668 p.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A.J.; CARNEIRO, P. C. **Modelos Biométricos Aplicados ao Melhoramento Genético - Volume 1**. Ed. 1. Viçosa: Editora UFV, 2012. 514 p.

CUCOLLOTO, M. et al. Genotype x environment interaction in soybean: evaluation through three methodologies. **Crop breeding and applied biotechnology**, Viçosa, v. 7. p. 270-277, 2007.

Cultivar Web, Registro Nacional de Cultivares in <<http://sistemas.agricultura.gov.br/snpc/cultivarweb/index.php>> Acesso em: 02 de junho de 2020.

DAROS, M. et al. Adaptabilidade e Estabilidade de Produção de Ipomoea batatas. **Acta Scientiarum**, Maringá, PR., v. 22, n. 4, p. 911-917, 2000.

DUBEY, A. et al. Growing more with less: Breeding and developing drought resilient soybean to improve food security. **Ecological Indicators**, Coimbra, v.105, p.425-437, 2019.

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

FAO. 2009, **Global agriculture towards 2050**. Rome, FAO.

FARIAS NETO, J. T.; VELLO, N. A. Avaliação de progênies F4:3 e F5:3 e estimativas de parâmetros genéticos com ênfase para porcentagem de óleo, produtividade de grãos e óleo em soja. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras v. 25, p. 812-820, 2001.

FARIAS, F. J.; FREIRE, E. C.; CARVALHO, L. P.; ARANTES, E. M.; OLIVEIRA, L. C. **Estabilidade e adaptabilidade de genótipos de algodoeiro herbáceo no Estado do Mato Grosso. Campina Grande: Embrapa-CNPQ**. 1996, 4p. (Embrapa-CNPQ. Pesquisa em andamento, 29).

FERREIRA, P. R. et al. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de alfafa em relação a diferentes épocas de corte. **Ciência Rural**, v.34, p.265-269, 2004.

FRIEDRICH, M. R.; Heterosis and genetic variance in soybean recombinant inbred line populations. **Crop Science**, Madison, v.56, p. 2072-2079, 2016.

GAUCH JUNIOR, H.G.; ZOBEL, R.W. Identifying megaenvironments and targeting genotypes. **Crop Science**, v.37, p.311-326, 1997.

HAMAWAKI, O. T. et al. Adaptability and stability of soybean genotypes in the states of maranhão, piauí, tocantins and bahia. **Genetics and molecular research**, Ribeirão Preto, v. 17, p. 1-9, 2018.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Available in < <http://www.ibge.gov.br/>> Acesso em: 02 de junho de 2019.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo agropecuário 2017**. Available in < <http://www.ibge.gov.br/>> Acesso em: 02 de junho de 2019.

LEDO, F. J. S. et al. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de alfafa avaliadas em Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**. Lavras, v. 29, n. 2, p. 409-414, 2005.

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

MEDONÇA, L. F. et al. Genomic prediction enables early but low-intensity selection in soybean segregating progênies, **Crop Science**, Madison, v.60, p. 1-16, 2020.

NEGASH, A.W. et al. Additive main effects and multiplicative interactions model (AMMI) and genotype main effect and genotype by environment interaction (GGE) biplot analysis of multi-environmental wheat variety trials. **African Journal of Agricultural Research**, v.8, p.1033-1040, 2013.

NOGUEIRA, A. P. O. et al. Análise de trilha e correlações entre caracteres em soja cultivada em duas épocas de semeadura. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.28, n. 6, p.877-888, 2012.

PACHECO, R. M. et al. Key locations for soybean genotype assessment in central Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, p.478-486, 2009.

PIMENTEL GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15.ed. FEALQ, Piracicaba, p. 451, 2009.

RAY D. K. et al. Yield trends are insufficient to double global crop production by 2050. **Plos One**, Nova Iork, v.8, n.6, 2013.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; alvarez, v. H. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em minas gerais - 5º Aproximação. Viçosa, MG, 1999, 359 p.

ROCHA, G. A. F. et al. Potential of soybean crosses in early inbreeding generations for grain yield. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v.18, p. 267-275, 2018.

ROULIN, A. The fate of duplicated genes in a polyploid plant genome. **Plant Journal**, v.73, p. 143-153, 2012.

SCAPIM, C. A. et al. Yield stability in mayze (zea mays l.) And correlations among the parameters of the eberhart and russel, lin and binns and huehn models. **Genetics and molecular biology**, v. 23, p. 387-393, 2000.

WATSON, A. et al. Multivariate genomic selection and potential of rapid indirect selection with speed breeding in spring wheat. **Crop Science**, Madison, v. 59, p. 1-15, 2019.

WATSON, A. et al. Speed breeding is a powerful tool to accelerate crop research and breeding. **Nature Plants**, v.4, p.23-29, 2018.

WYSMIERKI. P. T.; VELLO, N. A. The genetic base of Brazilian soybean cultivars: evolution over time and breeding implications. **Genetics and Molecular Biology**. Ribeirão Preto, v.36, p. 547-555, 2013.

ZIYOMO, C.; BERNARDO, R. Drought tolerance in maize: indirect selection through secondary traits versus genomewide selection. **Crop Science**, Madison, v.54, p. 1269-1275, 2013.