



Desempenho de cultivares de soja em diferentes ambientes de cultivo

Paulo Henrique CERUTTI^{1*}, Marcio Dos SANTOS¹, Anne Tietjen MUNIZ¹,
Arthur Ribeiro RODRIGUES¹, Luan Tiago dos Santos CARBONARI¹,
Pedro Antonio SCHWARZER¹

¹Departamento de Agronomia, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, SC, Brasil.
(ORCID: *; 0000-0001-9282-1057; 0000-0001-8146-2829; 0000-0002-4401-3407; 0000-0002-7797-5194; 0000-0003-0812-6313)
*E-mail: paulohcerutti@gmail.com (ORCID: 0000-0001-6664-8449)

Recebido em 16/12/2019; Aceito em 22/04/2020; Publicado em 22/05/2020.

RESUMO: Anualmente, inúmeros cultivares de soja são desenvolvidos por programas de melhoramento genético. Desse modo, é importante obter informações sobre o comportamento desses cultivares em distintos ambientes. Objetivou-se com a elaboração do trabalho avaliar o efeito da interação genótipo*ambiente no desempenho de cultivares de soja em diferentes ambientes de cultivo. O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso com três repetições. Durante a execução dos experimentos, foi avaliado o desempenho produtivo de seis cultivares de soja em seis ambientes. A variável considerada foi o rendimento de grãos (kg ha⁻¹). As informações foram submetidas a análise de variância, análise de regressão linear simples e teste de comparação de médias. A média geral de produtividade de grãos foi de 2960 kg ha⁻¹. A análise de regressão indicou dois cultivares com adaptabilidade ampla, três cultivares com adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis e um cultivar com adaptabilidade específica a ambientes favoráveis. Dentre os cultivares avaliados, quatro apresentaram comportamento esperado ao longo dos ambientes de cultivo. Os cultivares exibiram comportamento análogo quanto ao rendimento de grãos. Por meio da aplicação da metodologia da regressão linear, foi possível obter informações relevantes para cultivo de soja em ambientes subsequentes.

Palavras-chave: *Glycine max* L.; interação genótipo*ambiente; adaptabilidade; estabilidade.

Performance of soybean cultivars in different growing environments

ABSTRACT: Annually, numerous soybean cultivars are developed by breeding programs. Thus, is important to obtain information about of these cultivars behavior in different environments. The objective of this work was to evaluate the effect of the genotype * environment interaction on the performance of soybean cultivars in different growing environments. The experimental design used was randomized blocks with three replications. During the execution of the experiments, was evaluated the productive performance of six soybean cultivars in six environments. The trait considered was grain yield (kg ha⁻¹). The information was submitted to analysis of variance, simple linear regression analysis and means comparison test. The overall mean grain yield was 2960 kg ha⁻¹. Regression analysis indicated two cultivars with broad adaptability, three cultivars with specific adaptability to unfavorable environments and one cultivar with specific adaptability to favorable environments. Among the evaluated cultivars, four showed prospective behavior throughout the cultivation environments. The cultivars exhibited analogous behavior regarding grain yield. The application of the linear regression methodology provided relevant information for soybean cultivation in subsequent environments.

Keywords: *Glycine max* L.; genotype*environment interaction; adaptability; stability.

1. INTRODUÇÃO

A cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) apresenta elevada importância no cenário nacional de produção de grãos. De acordo com estimativas da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), a produtividade média atual da cultura no Brasil é de 3292 kg ha⁻¹ (CONAB, 2019). Porém, o máximo potencial produtivo de cultivares de soja ainda não é explorado. No decorrer do processo de desenvolvimento de práticas agrícolas direcionadas para o aumento da produtividade de grãos de soja, várias técnicas de manejo têm sido aplicadas. Dentre as principais técnicas, podemos citar, a utilização de sistemas conservacionistas (sistema de plantio direto, integração lavoura-pecuária, rotação de culturas, dentre outros), uso de bioestimulantes, uso dos benefícios da

agricultura de precisão e não menos importante, o uso de cultivares melhoradas geneticamente (COSTA et al., 2019).

O melhoramento genético, associado com a qualidade de sementes e demais práticas de manejo fitotécnico, apresentam elevada importância quando se busca aumento de produtividade por área na cultura da soja (BARBOSA et al., 2019). Em termos de melhoramento genético, o interesse na obtenção de informações relativas aos efeitos da interação genótipo*ambiente (G*E), nas mais variadas espécies destinadas ao cultivo agrícola tem sido crescente (BORÉM; MIRANDA, 2013).

Durante muito tempo o fenômeno da interação G*E foi negligenciado por parte de geneticistas e melhoristas de plantas. Isso porque se acreditava que tal fenômeno é

prejudicial, e dificulta a recomendação ampla de cultivares aos ambientes de cultivo (ALLARD; BRADSHAW, 1964). Contudo, já se tem realizado trabalhos que buscam explorar os efeitos benéficos da interação G*E. Trabalhos estes voltados a regionalização de cultivo ou a estratificação de ambientes com maior homogeneidade, facilitando assim a recomendação direcionada dos genótipos (BRANQUINHO et al., 2014).

Allard (1971), descreve que valores fenotípicos devem ser medidos em relação a um grupo particular de ambientes, sendo ambos os ambientes advindos de períodos anuais, em determinadas localidades inseridas em uma área delimitada geograficamente. Diferenças entre anos e locais de cultivos podem culminar em comportamentos desiguais de cultivares em virtude da interação G*E. A avaliação dessa interação é de grande importância, e compete ao melhorista de plantas, antes mesmo da disponibilização de novos cultivares no mercado, quantificar a magnitude e a significância de seus efeitos. Por meio dessas informações, é possível aperfeiçoar estratégias, com o intuito de reduzir o efeito de interação ou inclusive explorar seu efeito benéfico (VENCOVSKY; BARRIGA, 1992).

O próprio desenvolvimento de cultivares de soja com adaptação a latitudes menores que 30°, praticadas no Brasil, foi um avanço na agricultura (ROCHA et al., 2012). Isso possibilitou a expansão do cultivo de soja em grande parte do território nacional. Além dessa característica, programas de melhoramento genético tem direcionado o interesse no desenvolvimento de genótipos tolerantes a estresses abióticos, presentes nos mais variados ambientes. Isso porque produtores rurais com extensas áreas de cultivo, tem a curiosidade na utilização de mais de um cultivar de soja em cada safra agrícola.

Esse fato, facilita algumas práticas de manejo, como semeadura e colheita em épocas escalonadas, por meio do uso de cultivares com ciclos diferentes. Essas práticas de manejo podem auxiliar na manutenção da qualidade das sementes, seja na ordem física, sanitária, genética ou fisiológica (GOMES et al., 2012). Além disso, o uso de distintos cultivares de soja promove facilidades aos produtores rurais, inclusive reduzindo perdas significativas com a colheita dos grãos. No entanto, é de grande importância verificar o comportamento de distintos cultivares em condições reais de cultivo ao longo das safras agrícolas.

Para a verificação desse comportamento, diversas metodologias têm sido desenvolvidas e aprimoradas visando a compreensão dos efeitos da interação G*E, como: análises de variância, métodos de regressão linear, análises multivariadas e a teoria dos modelos mistos, dentre outras (BASTOS et al., 2007). O método da regressão linear proposto por Eberhart; Russell (1966) foi e ainda é amplamente utilizado. A sua utilização ocorre em virtude da facilidade de aplicação do método e da simplicidade de interpretação dos resultados obtidos.

Desse modo, o objetivo do trabalho foi quantificar o efeito da interação genótipo*ambiente no desempenho produtivo de cultivares de soja.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram executados nos municípios de Faxinal do Guedes (local 1) e Passos Maia (local 2), no estado

de Santa Catarina. O local Faxinal dos Guedes apresenta latitude de 26°52'37" S e longitude de 52°24'15" W. O clima, segundo a classificação de Köppen é do tipo Cfb (subtropical úmido com verão temperado), com altitude em torno de 1000 m. O solo é do tipo latossolo. A temperatura média do ar é de 16,4 °C, umidade relativa em torno de 80% e precipitação média anual de 2100 mm. Já Passos Maia, apresenta latitude de 26° 42' 28" S e longitude de 51° 56' 50" W, com temperatura média do ar de 17,2 ° C, com solo do tipo latossolo. O clima também é do tipo Cfb, altitude média de 800 m e precipitação média anual de 2106 mm (PANDOLFO et al., 2002).

Em ambos os locais, o delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com três repetições. Foram utilizadas três repetições em função da execução dos experimentos ocorrer no interior de área comercial de produção de soja. Os fatores experimentais foram compostos por cultivares de soja e ambientes de cultivo. O fator cultivar foi formado por seis níveis, sendo cultivar um (BMX Potência RR®), cultivar dois (BMX Tornado RR®), cultivar três (BMX Magna RR®), cultivar quatro (BMX Veloz RR®), cultivar 5 (BMX Força RR®) e cultivar seis (BMX Apolo RR®). Já o fator ambiente, também com seis níveis, foi formado pela combinação de anos e locais de cultivo. Os experimentos foram realizados nas safras de 2016/17 (ano 1), 2017/18 (ano 2) e 2018/19 (ano 3), em dois locais. Assim, a combinação de anos e locais possibilitou a formação de seis ambientes: A1) local 1 ano 1; A2) local 2 ano 1; A3) local 1 ano 2; A4) local 2 ano 2; A5) local 1 ano 3 e A6) local 2 ano 3.

As áreas destinadas à execução dos experimentos possuíam sistema de plantio direto, implantado a mais de cinco anos, com rotação de culturas no inverno e verão. No esquema de rotação foram utilizadas as culturas do trigo, aveia, ervilhaca, nabo forrageiro, feijão e milho. Cada unidade experimental foi composta por quatro linhas de cinco metros, com espaçamento entre si de 0,45m. As duas linhas externas e 0,50 m das linhas internas de cada parcela foram descartadas para eliminação de efeitos de bordadura. A densidade de plantas utilizada foi de 16 plantas/m linear. A data de semeadura variou em função dos anos e locais de avaliação, com predominância entre os dias 10 - 30 de novembro de cada ano. A adubação de base, e demais tratamentos culturais foram executados de acordo com as recomendações técnicas para a cultura da soja (CQFS-RS/SC, 2016).

A variável avaliada foi a produtividade de grãos em kg ha⁻¹. As plantas contidas na área útil de cada unidade experimental foram colhidas quando a cultura atingiu estágio de maturação de colheita (R₉). Após, foram submetidas a trilha mecânica. A massa do montante colhido em cada parcela foi mensurada mediante a correção dos grãos para 13% de umidade. O modelo matemático que pode ser utilizado para descrever as condições experimentais é: $Y_{ijk} = \mu + \text{bloco}_i + \text{cult}_j + \text{amb}_k + \text{cult} * \text{amb}_{jk} + \epsilon_{ijk}$. Y_{ijk} representa o valor de produtividade de grãos avaliado em cada unidade experimental; μ é a média geral dos ensaios; bloco_i é o efeito do i-ésimo nível do fator bloco; cult_j é o j-ésimo nível do fator cultivar; amb_k representa o k-ésimo nível do fator ambiente; $\text{cult} * \text{amb}_{jk}$ é o efeito da interação cultivar*ambiente e ϵ_{ijk} é o efeito do erro experimental associado as unidades de observação. Já o modelo proposto por Eberhart; Russel (1966), para avaliação dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade por meio de regressão linear simples é descrito

como: $Y_{ij} = \beta_0 + \beta_1 I_{ij} + \delta_{ij} + \epsilon_{ij}$. Aonde Y_{ij} = média do genótipo i no ambiente j ; β_0 = média geral do genótipo i ; $\beta_1 I_{ij}$, β_{1i} = coeficiente regressão linear simples, o qual estima a resposta do i -ésimo genótipo frente a variação do ambiente; I_j = índices ambientais; δ_{ij} = desvios da regressão e ϵ_{ij} = erro experimental médio. As informações foram submetidas a análise de variância inicial e partição dos graus de liberdade. A variância (livre de resíduo) de cada fator experimental, foi calculada por meio das esperanças matemáticas do quadrado médio (VENCOVSKY; BARRIGA, 1992). Mediante a utilização das médias originadas de cada ambiente para cada cultivar, foi aplicada a metodologia de Eberhart; Russel (1966). As análises foram executadas com auxílio dos softwares SAS versão acadêmica (SAS University Edition) e software Genes.

3. RESULTADOS

Uma etapa inicial anterior a execução de qualquer análise de interação de genótipos (cultivares, linhagens ou híbridos), com o ambiente, é a execução da análise de variância global. Nessa situação, a análise da variação indicou significância para os efeitos simples de cultivar, ambiente e a interação cult*amb (Tabela 1). Isso aponta comportamento diferencial entre os cultivares avaliados e que o ambiente influencia no desempenho final de cada cultivar.

Tabela 1. Análise da variância para rendimento de grãos (kg ha⁻¹) em soja.

Table 1. Variance analysis for grain yield (kg ha⁻¹) in soybean.

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Quadrado médio
Bloco	2	88768,8 ^{ns}
Cultivar	5	1746063,1*
Ambiente	5	18648661,6*
Cultivar*Ambiente	25	405656,9*
Resíduo	69	239642,0
Total	106	
Média Geral	2960	$\sigma^2_{ambiente} = 10194670$
CV ² (%)	16,42	$\sigma^2_{cultivar} = 73844$

*Significativo a 5% de probabilidade de erro pelo teste F; ^{ns} não significativo a 5% de probabilidade de erro pelo teste F; ²Coeficiente de variação; ³Coeficiente de determinação. σ^2 = variância de ambientes, variância de cultivares e variância da interação cultivar*ambiente.

Tabela 2. Estimativas de quadrado médio do desdobramento de graus de liberdade para rendimento de grãos (kg ha⁻¹) em soja.

Table 2. Mean squares estimates of the degree of freedom split for grain yield (kg ha⁻¹) in soybean.

Fonte de Variação	GL ¹	A1	A2	A3	A4	A5	A6
Bloco	2	251706	137905	59166	32896	1101015	278455
Cultivar	5	701193	449761	731932	623074*	244834	924107*
Erro	10	277704	141143	447092	99153	285672	93000
Total	17						

*Significativo a 5% de probabilidade de erro pelo teste F. ¹Graus de liberdade.

Tabela 3. Estimativas dos parâmetros de adaptabilidade (β_1) e estabilidade ($\sigma^2 d$) dos cultivares para produtividade de grãos (kg ha⁻¹) em soja.

Table 3. Adaptability (β_1) and stability ($\sigma^2 d$) parameters estimates of cultivars for grain yield ((kg ha⁻¹) in soybean.

Cultivar	Média (kg ha ⁻¹).	β_1^1	$\sigma^2 d$ (2)	R ² (3)
1	3212	1,02 ^{ns}	36263 ^{ns}	0,96
2	2752	0,84 ^{ns}	124355*	0,82
3	3081	0,81 ^{ns}	138946*	0,79
4	3156	1,08 ^{ns}	7652 ^{ns}	0,95
5	3159	0,97 ^{ns}	5642 ^{ns}	0,94
6	2403	1,26*	10237 ^{ns}	0,97

*Significativo a 5% de probabilidade de erro pelo teste t. ^{ns} Não significativo a 5% de probabilidade de erro pelo teste F; ¹Coeficiente de regressão; ²Desvios da regressão; ³ Coeficiente de determinação. Hipóteses: $\beta_1 = 1,0$; $\sigma^2 d = 0$.

A maior fração de quadrado médio foi devida ao efeito do ambiente, seguida dos fatores cultivar e ao efeito de interação cult*amb (Tabela 1). O coeficiente de variação obtido nos ensaios foi de 16,42%, indicando boa precisão experimental, sendo considerado médio, com valor entre 10-20 % (PIMENTEL- GOMES, 1985). O coeficiente de determinação também apresentou valor elevado (0,87), indicando adequabilidade do modelo matemático para elucidar as causas de variação presentes nos experimentos. A variância de cultivares ($\sigma^2_{cultivar}$), assumiu valor de 73844. Maiores valores de variância entre cultivares indicam a presença de divergência genética. Desse modo, os cultivares concentram genes distintos relacionados a expressão do caráter rendimento de grãos. Porém, notamos que o maior valor de variância se encontra no fator ambiente. Fato este coincidente com a maior estimativa obtida de quadrados médios intrínsecos ao fator ambiental. A magnitude do valor de variância genética é diretamente relacionada com a escala de medida da característica considerada. Na característica rendimento de grãos, por exemplo, medida em quilos por hectare, naturalmente assume maior valor de variância, quando comparada a variáveis com escala de medidas menores. Os valores de quadrado médio da Tabela 2, indicam o desdobramento dos graus de liberdade para os fatores em estudo. Esse desdobramento foi realizado buscando observar o efeito dos seis ambientes de forma individual sobre o fator cultivar.

É possível observar na Tabela 2, que os quadrados médios referentes aos ambientes quatro e seis apresentaram significância. Desse modo, esses dois ambientes possivelmente são responsáveis pela significância do fator ambiente como um todo. Ou seja, são os ambientes que majoritariamente participam em maior magnitude na discriminação das cultivares avaliadas. Após detectada a significância da interação cult*amb, é possível a execução de uma análise mais apropriada para elucidar os efeitos da interação G*E. Desse modo, os valores dos parâmetros referentes a adaptabilidade e estabilidade fenotípica, fundamentados na análise de regressão linear simples, estão contidos na Tabela 3.

As médias de produtividade dos cultivares em todos ambientes variaram de 2403 a 3212 kg ha⁻¹. O coeficiente de regressão assumiu valores de 0,81 a 1,26. Esse coeficiente classifica os cultivares quanto ao parâmetro de adaptabilidade (ampla ou específica). Os desvios da regressão são relacionados com a estabilidade dos cultivares. Esse parâmetro também é mencionado como indicador da previsibilidade de comportamento dos cultivares frente a variações no ambiente de cultivo, e desse modo, o menor valor de desvio da regressão (próximo de zero) é considerado ideal (EBERHART; RUSSEL, 1966). Os coeficientes de determinação novamente assumiram valores elevados (em média 0,90), indicando que grande parte das informações coletadas a campo são explicadas pelo modelo matemático proposto na análise de regressão. A metodologia da regressão linear simples fornece também informações sobre a “qualidade” dos ambientes avaliados, por meio das estimativas dos índices ambientais (IA), contidos na Tabela 4.

Tabela 4. Médias e índices ambientais relativos aos seis ambientes avaliados.

Table 4. Means and environmental indexes related to the six environments evaluated.

Ambientes	Média (kg ha ⁻¹)	Índices Ambientais
1	3467	505
2	2884	-77
3	1948	-1012
4	1569	-1392
5	4156	1194
6	3743	782

As médias dos cultivares para cada ambiente variaram de 1569 a 4156 kg ha⁻¹ (nessa situação, a média é calculada como o desempenho de todos os genótipos em cada ambiente). As menores médias são observadas nos índices de ambiente negativos. Essa negatividade do fator ambiental salienta que os ambientes dois, três e quatro reduziram as médias dos cultivares, enquanto que os ambientes um, cinco e seis são ambientes que propiciaram condições ideais de desenvolvimento e desse modo a média dos cultivares foi maior. Além disso, a variação dos índices ambientais de -1392 a 1194, evidencia grande divergência ecológica entre os ambientes em que os cultivares foram conduzidos. Os ambientes considerados instáveis são particularmente desejados para o diagnóstico dos parâmetros de estabilidade e adaptabilidade fenotípica (ALLARD; BRADSHAW, 1964). Com base nas informações de média geral de cada cultivar, coeficiente de regressão e índices ambientais, demonstra-se o comportamento de cada cultivar, executando a classificação de cada um em: adaptabilidade no sentido amplo (Figuras 1A), adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis (Figuras 1B) e adaptabilidade específica a ambientes favoráveis (Figura 1C).

Os cultivares apresentam distintas taxa de incremento no rendimento de grãos (81 a 126 kg ha⁻¹) a cada melhoria na qualidade ambiental. Notamos que o cultivar três, por exemplo, cuja classificação remete a adaptação a ambientes específicos desfavoráveis, é que apresenta menor R² (0,79). O cultivar seis, é adaptado a ambientes específicos favoráveis, no entanto, exibe a menor média (2403 kg ha⁻¹), ou seja, não apresenta bom desempenho em condições de ambiente de cultivo não ideais. Já o cultivar um, apresenta adaptação

ampla, e desse modo, o cultivo em condições favoráveis ou desfavoráveis pouco afeta sua performance média ao longo dos ambientes.

Além de estimar os parâmetros disponibilizados pela análise da regressão, é conveniente realizar comparações de médias entre os cultivares, com o intuito de salientar a igualdade ou não de produtividade de cada cultivar (Tabela 5). Por meio da execução do teste de comparação de médias, notamos que os cultivares apresentam comportamento análogo, exceto quando comparados com o cultivar seis, que detém o menor rendimento de grãos, diferindo dos demais.

A igualdade de comportamento propicia ao produtor rural a escolha de um ou outro cultivar para cultivo, já que os mesmos apresentam rendimento de grãos semelhantes e iguais estatisticamente.

Tabela 5. Comparação de médias para rendimento de grãos dos cultivares avaliados.

Table 5. Mean comparison for grain yield (kg ha⁻¹) of evaluated cultivars.

Genótipo	Média (kg ha ⁻¹)
1	3212 A
5	3159 A
4	3156 A
3	3081 A
2	2752 AB
6	2403 B

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade de erro.

4. DISCUSSÃO

A significância da interação G*E frequentemente é relatada na literatura (MONTEIRO et al., 2017; MEOTTI et al., 2012). A interação G*E nessa situação indica que os cultivares de soja avaliados se comportam de maneira desigual ao longo dos ambientes, ou seja, que o fator ambiente exerce influência na produtividade dos cultivares. Observando a Tabela 1, o quadrado médio referente ao efeito de ambiente (18648661,6) é superior em relação ao efeito de genótipo e efeito da interação cultivar*ambiente. Este fato indica o elevado efeito isolado do fator ambiente na discriminação dos cultivares. Alguns autores defendem a utilização de locais e anos formando o fator ambiente, pois a execução da análise de regressão sobre ambientes é mais poderosa para se avaliar a estabilidade genotípica (EBERHART; RUSSEL, 1966). Contudo, a análise de variância global é pouco informativa. Assim, a execução de análises específicas para estudo da interação G*E, torna mais fácil a compreensão de como os cultivares tendem a variar seu comportamento frente a modificações do ambiente. Após a realização do estudo do efeito de cada ambiente sobre o comportamento dos cultivares, é possível observar que os ambientes quatro e seis, são os principais responsáveis pela magnitude de significância do fator ambiente com um todo. Os ambientes quatro e seis, representam respectivamente o local Passos Maia nas safras agrícolas 2017/18 e 2018/19. Desse modo, em duas safras consecutivas, possíveis variações ambientais (clima, solo, manejo), no local Passos Maia, alteraram o efeito do fator ambiente, influenciando no rendimento de grãos dos cultivares.

De acordo com a Tabela 3, 83,33% dos genótipos apresentam coeficiente de regressão igual a um (β1 não significativo). Esse fato indica uma taxa de variação constante

entre os cultivares à medida que o ambiente é modificado. Contudo, os cultivares apresentam diferentes taxas de incremento, variando desde 81 kg ha⁻¹ (cultivar 3, $\beta_1 = 0,81$) a 108 kg ha⁻¹ (cultivar 4, $\beta_1 = 1,08$). Ou seja, esse coeficiente representa o incremento no rendimento de grãos mediante melhorias no ambiente para cada genótipo. O cultivar seis,

apresenta $\beta_1 = 1,26$ e desse modo, o aumento no rendimento de grãos pode chegar a 126 kg ha⁻¹. Os autores Domingues et al. (2013), destacam valores de β_1 para a cultura do feijão, variando de 0,88 a 1,21. Valores de β_1 com maior amplitude de variação (0,45 - 1,61), já tem sido relatado (TAVARES et al., 2017).

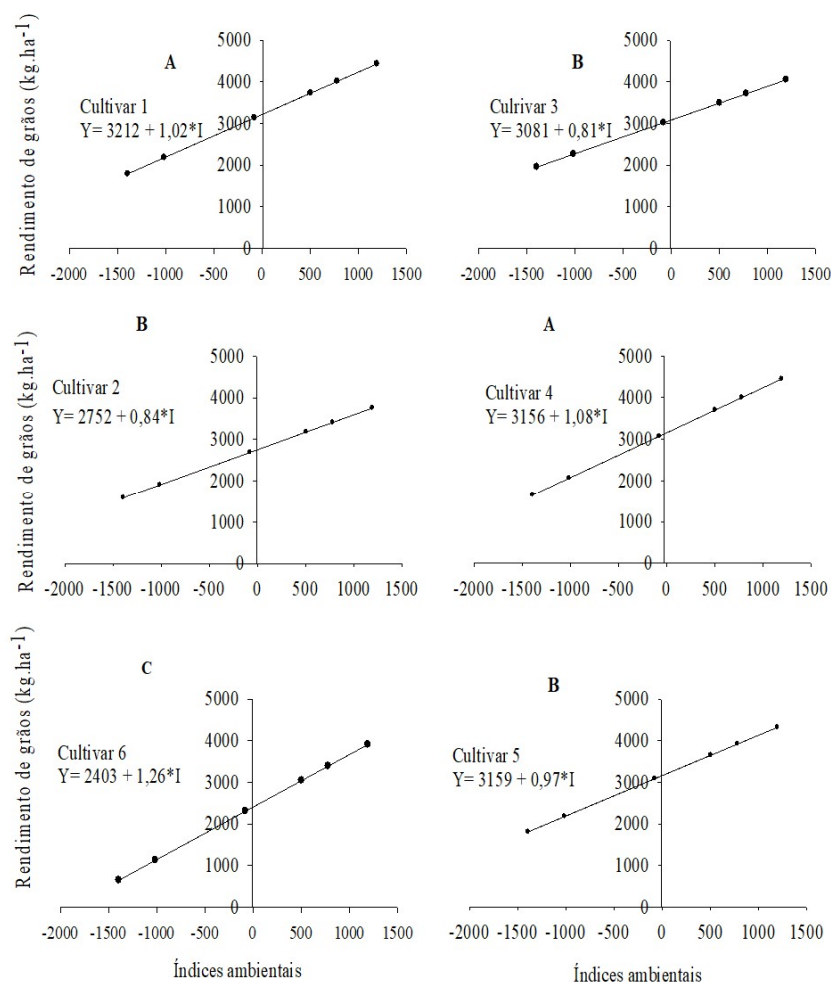


Figura 1. Equações de regressão para os seis cultivares utilizados nos ensaios.
Figure 1. Regression equations for the six cultivars used in the tests.

Juntamente com o coeficiente de regressão, a estabilidade dos cultivares avaliados é uma informação digna de ser observada em ensaios dessa natureza. O parâmetro de estabilidade (σ^2d), referido pela metodologia de Eberhart; Russel (1966) remete a possível predição de comportamento dos cultivares ao longo dos ambientes. O mesmo também pode ser denominado como a previsibilidade de comportamento dos cultivares. Os valores de σ^2d iguais a zero ou próximos de zero indicam estabilidade, reduzida variação de desempenho fenotípico ao longo dos ambientes. Nessa situação, 33,33% dos cultivares apresentam desvio da regressão diferente de zero ($\sigma^2d \neq 0$), indicando baixa previsibilidade de comportamento. Os autores Monteiro et al. (2017) relatam significância dos desvios da regressão em 45,45% dos cultivares de soja avaliados. Os cultivares um, quatro, cinco e seis apresentam alta previsibilidade, e dessa forma, é possível prever seu comportamento médio (rendimento de grãos), em distintos ambientes de cultivo. A previsibilidade de comportamento auxilia produtores rurais, técnicos de campo e melhoristas de

plantas, permitindo a recomendação de um genótipo específico (cultivar, híbrido) para as safras de cultivo.

Aliada às informações de adaptabilidade e estabilidade, a estimativa dos índices ambientais (Tabela 4), promovidas pela análise de regressão, também auxilia na recomendação de cultivares (CRUZ et al., 2012). Os índices ambientais dois, três e cinco apresentam magnitude negativa. Isso indica que Passos Maia na safra 2016/17 e Faxinal dos Guedes e Passos Mais na safra 2017/18, foram ambientes que não disponibilizaram condições ideais ao crescimento de desenvolvimento dos cultivares. Assim, quando os cultivares são submetidos a cultivo nesses ambientes, a média fenotípica de rendimentos de grãos é reduzida.

Por meio da junção das informações referentes a média fenotípica de cada cultivar, coeficiente de regressão e índice ambiental, é possível confeccionar as equações de regressão para cada cultivar avaliado. O cultivar um, por apresentar coeficiente de regressão igual a unidade foi classificada em adaptabilidade ampla. Ou seja, independente da mudança de qualidade do fator ambiental (melhorias ou declínio), o

cultivar não é responsivo. O cultivar três, com $\beta_1 = 0,81$ denota adaptabilidade específica a ambientes específicos desfavoráveis. Desse modo, em ambientes que não apresentam condições ideais de cultivo, o cultivar mantém seu desempenho ou a redução no rendimento de grãos é menor, quando comparado ao desempenho em ambientes propícios (CRUZ et al., 2012).

Contrariamente, o cultivar seis, exibe adaptabilidade específica a ambientes favoráveis ($\beta_1 = 1,26$). Assim, quando cultivado em determinado ambiente que disponibilize todas as condições necessárias, este cultivar expressa o seu máximo potencial. Porém, quando cultivado em ambiente inferior, a redução no rendimento de grãos é significativa. Os autores Polizel et al. (2013) utilizando distintos métodos de análise de adaptabilidade e estabilidade, destacam que dos 16 genótipos avaliados, seis apresentam β_1 maior que a unidade e 10 denotam valores menores que a unidade. Porém, o coeficiente de regressão dos 16 genótipos não apresenta significância. O uso da metodologia de regressão linear, permite a estimação de parâmetros que indicam a adaptabilidade e estabilidade fenotípica, e desse modo, possibilita caracterizar um grupo de cultivares quanto a resposta relativa às variações de ambiente. Ainda de acordo com a metodologia da regressão linear, quando possível, é necessário elencar um genótipo considerado ideal. O genótipo ideal, previsto pela metodologia é o que apresenta a maior média fenotípica da variável considerada (nesse caso o rendimento de grãos), coeficiente de regressão linear igual a um e desvio da regressão igual a zero. Assim, no presente estudo, o cultivar um é considerado ideal. Aliado a escolha de um cultivar ideal, diversos programas de melhoramento genético de soja, tem enfatizado o desenvolvimento de cultivares com índices produtivos altos, mas que mantenham a estabilidade de rendimento. Contudo, o desenvolvimento de um cultivar com alto desempenho em diversos ambientes de cultivo é raro de ser encontrado (POPOVIĆ et al., 2012).

Além da estimativa dos parâmetros da regressão linear, é de fundamental importância realizar a comparação de médias de produtividade de grãos dos cultivares avaliados. Comparações de médias indicam se as diferenças visuais de rendimento de grão, são confirmadas de acordo com uma probabilidade de erro definida por um teste específico de comparação de médias. Como pode ser visualizado na Tabela 5, os cultivares apresentam desempenho de rendimento de grãos semelhante, diferindo apenas do cultivar seis, que apresentou a menor média (2403 kg ha⁻¹). Possivelmente, o cultivar seis apresentou a menor média pela falta de adaptação aos ambientes de cultivo. Como foi observado, esse cultivar é responsivo a ambientes altamente favoráveis. Assim, os ambientes de cultivo elucidados neste trabalho, eventualmente não foram propícios para expressão do potencial produtivo desse cultivar. Os autores Marques et al. (2011) destacam diferenças produtivas entre sete cultivares de soja cultivadas no estado de Minas Gerais, com média geral de produtividade de 2427 kg ha⁻¹. No presente trabalho, a média geral de todos os ensaios foi de 2960 kg ha⁻¹, em torno de 50 sacas por hectare.

A diferença de produtividade dos cultivares em relação ao cultivar seis, pode ser explicada por inúmeros fatores. As condições edafoclimáticas possivelmente provocaram a redução de desempenho. O local Faxinal do Guedes, apresenta temperatura média inferior a Passos Maia, e maior altitude. Desse modo, é um local mais frio. Além do quesito

temperatura, os autores Salmeron et al. (2014), destacam a importância da observação da data de plantio de cultivares de soja. A data de plantio ideal para cada grupo de maturação é ideal para obtenção de elevados níveis de produtividade.

5. CONCLUSÕES

Os cultivares de soja apresentaram desempenho diferencial ao longo dos ambientes de cultivo.

O fator ambiente foi responsável por discriminar os cultivares avaliados.

A grande maioria dos cultivares apresenta comportamento fenotípico previsível. Os cultivares BMX Potência RR® e BMX Força RR®, foram considerados superiores para a variável rendimento de grãos.

A utilização de informações de adaptabilidade e estabilidade fenotípica pode auxiliar produtores de soja, facilitando práticas de manejo e ajustando cada cultivar a um ambiente ideal de cultivo.

6. AGRADECIMENTOS

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (FAPESC), por todo suporte intelectual e financeiro.

7. REFERÊNCIAS

- ALLARD, R.W. **Princípios do melhoramento genético de plantas**. São Paulo: Edgard Blucher, 1971. 381 p.
- 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. DOI: <https://dx.doi.org/10.2135/cropsci1964.0011183X000400050021x>
- BARBOSA, A.S.; NASCIMENTO, I.R.; FIDELIS, R.R.; SOUSA, S.M.; PELÚZIO, J.M. Dessecação química e retardamento de colheita em soja visando a produção de sementes. **Nativa**, Sinop, v. 7, n. 1, p. 13-22, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.31413/nativa.v7i2.6261>
- BASTOS, I. T.; BARBOSA, M. H. P.; RESENDE, M. D. V.; PETERNELLI, L. A.; SILVEIRA, L. C. I.; DONDA, L. R.; FIGUEIREDO, I. C. R. Avaliação da interação genótipo x ambiente em cana-de-açúcar via modelos mistos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 37, n. 4, p. 195-203, 2007.
- BORÉM, A.; MIRANDA, G.V. **Melhoramento de plantas**. Viçosa: UFV, 2013. 523 p.
- BRANQUINHO, R. G.; DUARTE, J. B.; SOUZA, P. I. M. D.; SILVA NETO, S. P. D.; PACHECO, R. M. Estratificação ambiental e otimização de rede de ensaios de genótipos de soja no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 49, n. 10, p. 783-795, 2014. DOI: <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2014001000005>
- CONAB. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos**, novembro 2019. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/infoagro/safras/graos/bol-etim-da-safra>>. Acesso em: 25 nov. 2019.
- COSTA, L. C.; TAVANTI, R. F. R.; TAVANTI, T. R.;

- PEREIRA, C. S. Desenvolvimento de cultivares de soja após inoculação de estirpes de *Bacillus subtilis*. **Nativa**, Sinop, v. 7, n. 2, p. 126-132, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.31413/nativa.v7i2.6261>
- CQFS - RS/SC_COMISSAO DE QUIMICA E FERTILIDADE DO SOLO. **Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Porto Alegre: SBCS/NRS, 2016. 376 p.
- CRUZ, C.D.; CARNEIRO, P.C.S.; REGAZZI, A.J.; **Modelos Biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 2012. 668 p.
- DOMINGUES, L.S.; RIBEIRO, N. D.; MINETTO, C.; SOUZA, J. F.; ANTUNES, I. F. Metodologias de análise de adaptabilidade e de estabilidade para a identificação de linhagens de feijão promissoras para o cultivo no Rio Grande do Sul. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 3, p. 1065-1076, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2013v34n3p1065>
- EBERHART, S.A., RUSSEL, W.A. Stability parameters for comparing varieties. **Crop Science**, Madison, v. 6, n. 1, p. 36-40, 1966. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci1966.0011183X0006000100011x>
- GOMES, G. D. R.; BENIN, G.; ROSINHA, R. C.; GALVAN, D.; PAGLIOSA, E. S.; PINNOW, C.; BECHE, E. Produção e qualidade fisiológica de sementes de soja em diferentes ambientes de cultivo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 1, p. 2593-2604, 2012.
- MARQUES, M. C.; HAMAWAKI, O. T.; SEDIYAMA, T.; BUENO, M. R.; REIS, M. S.; CRUZ, C. D.; NOGUEIRA, A. P. O. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de soja em diferentes épocas de semeadura. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n. 1, p. 59-69, 2011.
- MEOTTI, G. V.; BENIN, G.; SILVA, R. R.; BECHE, E.; MUNARO, L. B. Épocas de semeadura e desempenho agrônomo de cultivares de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 1, p. 14-21, 2012. DOI: <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2012000100003>
- MONTEIRO, F. J. F.; PELUZIO, J. M.; AFFÉRRI, F. S.; CARVALHO, E. V.; SANTOS, W. F. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de soja para produtividade de óleo nos grãos. **Agrarian**, Dourados, v. 10, n. 35, p. 18-21, 2017. DOI: <https://dx.doi.org/10.30612/agrarian.v10i35.3836>
- PANDOLFO, C.; BRAGA, H. J.; SILVA JÚNIOR, V. D.; MASSIGNAM, A. M.; PEREIRA, E. S.; THOMÉ, U. M. R.; VALCI, F. V. A. **Atlas climatológico do estado de Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 2002. 1 v.
- PIEMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. Piracicaba: Livraria Nobel, 1985. 467 p.
- POLIZEL, A. C.; JULIATTI, F. C.; HAMAWAKI, O. T.; HAMAWAKI, R. L.; GUIMARÃES, S. L. Adaptabilidade e estabilidade fenotípica de genótipos de soja no estado do Mato Grosso. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 29, n. 4, p. 910-920, 2013.
- POPOVIĆ, V.; VIDIĆ, M.; JOCKOVIĆ, Đ.; IKANOVIĆ, J.; JAKŠIĆ, S.; CVIJANOVIĆ, G. Variability and correlations between yield components of soybean [*Glycine max* (L.) Merr.]. **Genetika**, Beograd, v. 44, n. 1, p. 33-45, 2012. DOI: <https://dx.doi.org/10.2298/gensr1201033p>
- ROCHA, R.S.; SILVA, J. A. L.; NEVES, J. A.; SEDYAMA, T.; TEIXEIRA, R. C. Desempenho agrônomo de variedades e linhagens de soja em condições de baixa latitude em Teresina-PI. **Revista Ciência Agrônoma**, Fortaleza, v. 43, n. 1, p. 154-162, 2012.
- SALMERON, M.; GBUR, E. E.; BOURLAND, F. M.; BUEHRING, N. W.; EARNEST, L.; FRITSCHI, F. B.; NEELY, C. Soybean maturity group choices for early and late plantings in the Midsouth. **Agronomy Journal**, Madison, v. 106, n. 5, p. 1893-1901, 2014. DOI: <https://dx.doi.org/10.2134/agronj14.0222>
- TAVARES, T.; SOUSA, S.; SALGADOS, F.; SANTOS, G.; LOPES, M.; FIDELIS, R. Adaptabilidade e estabilidade da produção de grão em feijão comum (*Phaseolus vulgaris*). **Revista de Ciências Agrárias**, Fortaleza, v. 40, n. 2, p. 210-220, 2017.
- VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no Fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de genética, 1992. 496 p.