

**ANNANDA MENDES COSTA**

**ESTRATIFICAÇÃO AMBIENTAL E RECOMENDAÇÃO DE CULTIVARES  
DE SOJA PARA O MATO GROSSO DO SUL**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

Orientador: Luiz Alexandre Peternelli

**VIÇOSA - MINAS GERAIS  
2020**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

Costa, Annanda Mendes, 1991-

C837e  
2020            Estratificação ambiental e recomendação de cultivares de  
soja para o Mato Grosso do Sul / Annanda Mendes Costa. –  
Viçosa, MG, 2020.

62 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Luiz Alexandre Peternelli.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. *Glycine max*. 2. Interação genótipo-ambiente. 3. Cultivos  
agrícolas - Métodos estatísticos. I. Universidade Federal de  
Viçosa. Departamento de Estatística. Programa de  
Pós-Graduação em Genética e Melhoramento. II. Título.

CDD 22 ed. 633.34

**ANNANDA MENDES COSTA**

**ESTRATIFICAÇÃO AMBIENTAL E RECOMENDAÇÃO DE CULTIVARES  
DE SOJA PARA O MATO GROSSO DO SUL**

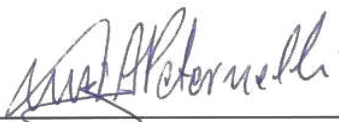
Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 12 de maio de 2020.

Assentimento:



Annanda Mendes Costa  
Autora



---

Luiz Alexandre Peternelli  
Orientador

*Aos meus pais, Jaime e Fátima, e à minha irmã Daniela, que são minha essência e sempre acreditaram em mim.*

**DEDICO**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por ser minha fonte de força e fé na realização deste sonho.

À Universidade Federal de Viçosa, instituição que representa um sonho, motivo de toda minha dedicação no decorrer da minha trajetória acadêmica, e hoje meu maior orgulho.

Ao Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, por todo apoio durante a realização do doutorado.

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

Ao meu orientador, Professor Luiz Alexandre Peternelli, o qual eu tenho uma admiração e uma eterna gratidão por ter me orientado e apoiado, sempre disposto a me ajudar, principalmente nos momentos que eu mais precisei.

À FUNDAÇÃO MS, em especial, ao Pesquisador André Bezerra por toda colaboração para a realização deste trabalho.

Ao meu amigo, Professor Paulo Eduardo Teodoro, o qual não tenho palavras para expressar como sou grata por toda ajuda durante todo o doutorado, por todas as contribuições para este trabalho e também pelos conselhos.

Ao professor Felipe Lopes da Silva por toda colaboração imprescindível para elaboração deste trabalho.

A minha família, meus pais Jaime e Fátima, meu sobrinho Gabriel e meu cunhado Danilo, por todo amor e incentivo, especialmente meus pais, que nunca mediram esforços para que eu pudesse ter uma boa educação.

Ao Instituto Federal de Mato Grosso do Sul, por todo apoio para a realização do doutorado.

Aos meus amigos, Josiane Silva, Heloísa Rocha, João José e Thais Corrêa, vocês são especiais.

A todos os meus professores e orientadores, os quais me inspiraram a seguir a trajetória da educação.

“Foi o tempo que dedicaste à tua rosa que a fez tão importante.”

Antoine de Saint-Exupéry

## BIOGRAFIA

Annanda Mendes Costa, filha de Jaime Ferreira Costa e Maria de Fátima Mendes Costa, nasceu em 15 de junho de 1991, em Cachoeira de Pajeú, Minas Gerais, Brasil.

Cursou o ensino básico na Escola Estadual Barão do Rio Branco em Cachoeira de Pajeú-MG e o ensino médio na Escola Agrotécnica Federal de Salinas, Salinas-MG, na qual concluiu seu curso de Técnica em Agropecuária, em 2008.

Em 2009 iniciou o curso de agronomia na Universidade Estadual de Montes Claros (UNIMONTES), *campus* de Janaúba, Minas Gerais.

Em 2014 ingressou no Mestrado em Genética e Melhoramento da Universidade Federal de Viçosa, concluindo-o em fevereiro de 2016.

Em 2016 ingressou no Doutorado em Genética e Melhoramento da Universidade Federal de Viçosa.

Atualmente ocupa o cargo efetivo de Professora do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico do Instituto Federal de Mato Grosso do Sul – Campus Ponta Porã.

## RESUMO

COSTA, Annanda Mendes, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, maio de 2020. **Estratificação ambiental e recomendação de cultivares de soja para o Mato Grosso do Sul.** Orientador: Luiz Alexandre Peternelli.

A recomendação das cultivares de soja enfrenta como desafio a grande variação ambiental existente no Brasil. Para diminuir os efeitos da interação genótipos  $\times$  ambientes, recomenda-se a utilização de cultivares com adaptação ampla e alta estabilidade, ou realizar a estratificação ambiental, reduzindo o número de locais e identificando sub-regiões em que os genótipos tenham o mesmo comportamento. Existe diversos métodos de estratificação, adaptabilidade e estabilidade, e para aproveitar de forma mais eficiente os efeitos da interação, é importante comparar as metodologias de análise. O objetivo deste trabalho foi estudar a interação genótipos  $\times$  ambientes e comparar os métodos de estratificação, adaptabilidade e estabilidade no melhoramento de soja. Os objetivos específicos foram: (1) comparar as estratificações ambientais realizadas por meio dos métodos de Lin (1982) e GGE biplot; (2) comparar os métodos de adaptabilidade e estabilidade de Eberhart e Russell (1966), Cruz *et al.* (1989) e Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998), e selecionar as cultivares de soja que possuam alta adaptabilidade, estabilidade e produtividade de grãos. Os ensaios foram conduzidos em diferentes municípios localizados no Mato Grosso do Sul, nas safras 2015/2016, 2016/2017 e 2017/2018. Os resultados obtidos nos métodos de Lin (1982) e GGE biplot foram similares para os agrupamentos dos ambientes. No entanto, os agrupamentos indicados pelo método GGE biplot apresentam maior coincidência ao longo das safras. O método de Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998), destaca-se para recomendação de cultivares de soja, pois reúne produtividade, estabilidade e adaptabilidade para classificação dos genótipos, sendo um método de fácil interpretação.

Palavras-chave: *Glycine max*. Interação genótipos  $\times$  ambientes. Métodos estatísticos.

## ABSTRACT

COSTA, Annanda Mendes, D.Sc., Federal Universidade Federal de Viçosa, May, 2020. **Environmental stratification and recommendation of soybean cultivars for Mato Grosso do Sul.** Adviser: Luiz Alexandre Peternelli.

The recommendation of soybean cultivars faces the challenge of the great environmental variation that exists in Brazil. To reduce the effects of genotype x environment interaction, it is recommended to use cultivars with wide adaptation and high stability, or to carry out environmental stratification, reducing the number of sites and identifying sub-regions in which the genotypes have the same behavior. There are several methods of stratification, adaptability and stability, and to make the most efficient use of the effects of the interaction, it is important to compare the analysis methodologies. The objective of this work was to study the interaction between genotypes x environments and compare stratification, adaptability and stability methods in soybean breeding. The specific objectives were: (1) to compare the environmental stratifications performed using the methods of Lin (1982) and GGE biplot; (2) to compare the adaptability and stability methods of Eberhart and Russell (1966), Cruz et al. (1989) and Lin and Binns (1988) modified by Carneiro (1998), and to select soybean cultivars that have high adaptability, stability and grain yield. The trials were conducted in different municipalities located in Mato Grosso do Sul, in the 2015/2016, 2016/2017 and 2017/2018 seasons. The results obtained in the methods of Lin (1982) and GGE biplot were similar for the groups of environments. However, the groupings indicated by the GGE biplot method show greater coincidence throughout the harvests. The method of Lin and Binns (1988) modified by Carneiro (1998), stands out for the recommendation of soybean cultivars, as it combines productivity, stability and adaptability for the classification of genotypes, being a method of easy interpretation.

Keywords: *Glycine max.* Genotype x environment interaction. Statistical methods

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL .....	10
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	14
ARTIGO 1: Métodos de estratificação ambiental no melhoramento da soja .....	16
RESUMO .....	17
ABSTRACT .....	18
INTRODUÇÃO .....	19
MATERIAL E MÉTODOS .....	20
RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	25
CONCLUSÕES .....	37
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	38
ARTIGO 2: Métodos de adaptabilidade e estabilidade para recomendação de cultivares de soja.....	41
RESUMO .....	42
ABSTRACT .....	43
INTRODUÇÃO .....	44
MATERIAL E MÉTODOS .....	45
RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	50
CONCLUSÕES .....	58
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	59
CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	62

## INTRODUÇÃO GERAL

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma cultura de expressão econômica no Brasil, com uma área plantada de 35,9 milhões de hectares e produção de 115 milhões de toneladas, na safra 2018/2019 (CONAB, 2019). A soja é oriunda do continente asiático (centro de origem na China, entre as latitudes de 30° a 45°N) (MUNDSTOK e THOMAS, 2005). Foi introduzida no Brasil, mas precisamente no estado da Bahia, em 1882, no entanto, as cultivares introduzidas dos EUA não tiveram boa adaptação na latitude em torno de 12°LS. Em 1891, foram introduzidas cultivares no Rio Grande do Sul, onde a cultura apresentou melhor desempenho devidos às condições climáticas serem mais semelhantes às do sul dos EUA, principalmente do fotoperíodo, que está diretamente relacionado com a latitude (SEDYAMA, 2015).

A sensibilidade da soja ao fotoperíodo é uma característica variável entre as cultivares. Trata-se de uma planta de dia curto, e a adaptabilidade de cada cultivar é variável à medida que se desloca em direção ao norte ou ao sul. Para minimizar a restrição de adaptação causada pela influência latitude, e conseqüentemente pelo fotoperíodo na performance produtiva da soja, introduziu a característica de período juvenil longo, afim de possibilitar o seu cultivo em faixas mais abrangentes de latitude (locais) (EMBRAPA SOJA, 2008).

O ciclo da cultivar de soja é definido pelo número de dias da emergência (os cotilédones estão acima da superfície do solo) até a maturidade (95% de vagens maduras). Nas condições brasileiras predominam cultivares de ciclo entre 90 e 150 dias. Com a possibilidade de obtenção de duas safras, no período chuvoso da região Central do Brasil, houve maior desenvolvimento de cultivares de ciclo menor que 120 dias, e que tivessem bom desempenho em semeaduras realizadas no final setembro a início de outubro e a colheita em janeiro a fevereiro (SEDYAMA, 2015).

Inicialmente, as cultivares de soja eram classificadas de acordo o ciclo total das cultivares em superprecoce, precoce, semiprecoce, médio, semitardio e tardio, sendo essa classificação válida dentro de cada faixa de adaptação (ARANTES *et al.*, 2010). Para contornar esse problema foi proposto nos EUA a divisão do país em faixas de latitude correspondentes a grupos de maturidade. Os grupos de maturação variam de acordo a latitude e são classificados de 0 (compreende as cultivares de soja cultivadas em latitudes maiores) a 10 (compreende as cultivares de soja cultivadas próximas à Linha do Equador). Esta classificação foi adaptada para as condições brasileiras, e a extensão territorial

brasileira foi subdividida em faixas de latitude que determinam os grupos de maturação (DECICINO, 2016). Ressalta-se que o ciclo da cultivar soja aumenta com a altitude e com a latitude (norte para sul), e diminui em regiões de menor altitude e quando se desloca do sul para o norte (ARANTES *et al.*, 2010).

Com todo o destaque da soja na agricultura brasileira, motivado pelas contribuições das pesquisas relacionadas ao melhoramento genético da soja, há um grande número de cultivares disponibilizadas para os produtores. Atualmente, o Ministério da Agricultura possui 2602 registros de cultivares e materiais experimentais de soja catalogadas no Registro Nacional de Cultivares (MAPA, 2020). No entanto, a recomendação das cultivares de soja enfrenta, como desafio, a grande variação ambiental existente no Brasil. Essa variação essa que compreende a fertilidade do solo, a latitude e longitude, a altitude e os sistemas de produção (PINHO, 2016).

Para lançamento de uma cultivar, é necessário a realização de ensaios denominados de VCU (valor de cultivo e uso), sendo exigido que a nova cultivar seja avaliada em uma localidade de cada região edafoclimática de importância para a cultura (MAPA, 2020). Nos ensaios finais, linhagens e cultivares são avaliados em vários locais testes, para se obter a representatividade da região à qual se destinam os genótipos a serem recomendados. No entanto, a avaliação em ensaios de VCU é onerosa, sendo imprescindível o planejamento adequado da rede de ensaios para se obter a adequada representação das regiões de cultivo e evitar a avaliação genotípica em locais redundantes (BRANQUINHO *et al.*, 2014).

Os ensaios experimentais são realizados em vários locais, com vários genótipos, e ocorre o que chamamos interação genótipos  $\times$  ambientes. Essa interação dificulta o trabalho do melhorista, principalmente na identificação de genótipos superiores, no momento de seleção ou na indicação de cultivares (FILHO *et al.* 2007). Em casos de existência de interação genótipos  $\times$  ambientes, há possibilidade do melhor genótipo em um ambiente não ser em outro (CRUZ *et al.*, 2012).

Segundo Ramalho *et al.* (1993), há três formas de diminuir os efeitos da interação genótipos  $\times$  ambientes: identificar uma cultivar específica para cada ambiente, o que seria inviável na prática, principalmente para as empresas produtoras de sementes; a outra possibilidade é identificar as cultivares com adaptação ampla e alta estabilidade; ou realizar a estratificação ambiental, reduzindo o número de locais e identificando sub-regiões em que os genótipos tenham o mesmo comportamento.

Para a estratificação ambiental tem-se empregado a método tradicional de Lin (1982), que se baseia no agrupamento de ambientes onde a interação é não significativa. O método GGE biplot (Genotype and Genotypes by Environments Interaction) também é utilizado para estratificação, e se baseia na análise de componentes principais para explorar os ensaios multi-ambientais, através das visualizações gráficas de biplot, na qual se infere sobre as relações entre os ambientes de teste, genótipos e interação genótipos por ambiente (HONGYO *et al.*, 2015). Segundo Branquinho *et al.* (2014) a maior parte dos trabalhos em soja é voltado para o estudo da interação G×E e apenas uma menor parte é dirigida à estratificação de ambientes.

O GGE biplot proposto por Yan *et al.* (2000), baseia-se em combinar os efeitos genotípicos (G) com os efeitos da interação genótipos × ambientes (G×E). São obtidos assim os gráficos denominados GGE biplot que proporciona a visualização gráfica dos genótipos e ambientes em avaliação.

A seleção de genótipos e populações com boa adaptação e alta produtividade, em vários ambientes é um dos objetivos básicos do melhoramento de plantas. Para atingir esse objetivo e explorar os benefícios da interação genótipos × ambientes, estudos acerca da adaptabilidade e estabilidade de genótipos são realizados, afim de identificar cultivares de comportamento previsível e responsivas às variações ambientais, em condições específicas ou amplas. Existem diversos métodos de análise de adaptabilidade e estabilidade baseadas na existência de interação. Estes métodos se diferem quanto ao conceito de estabilidade adotados e quanto a certos princípios estatísticos (CRUZ *et al.*, 2012).

Os métodos paramétricos utilizados para avaliação da adaptabilidade e estabilidade que se baseiam em análise de regressão relacionam as respostas individuais dos genótipos com o efeito do ambiente. Este geralmente é estimado utilizando o índice ambiental associado tanto à regressão linear simples quanto à regressão linear bissegmentada (CRUZ e REGAZZI, 1994). Esses métodos preconizam um número mínimo de ambientes, sendo três para os métodos que utilizam regressão linear simples e seis para os que utilizam regressão linear bissegmentada, e um maior número de parâmetros são avaliados simultaneamente para recomendação (CRUZ *et al.*, 1989).

O método proposto por Eberhart e Russel (1966) baseia na análise de regressão linear simples, e considera como genótipo ideal aquele que apresenta alta produção média, coeficiente de regressão igual a unidade e desvios da regressão próximo de zero.

Já o método de Cruz *et al.* (1989) é fundamentada na análise de regressão bissegmentada, e avalia o desempenho dos genótipos de forma diferenciada em ambientes favoráveis e desfavoráveis. Este método tem como parâmetro de adaptabilidade a média ( $\beta_0$ ), a resposta linear aos ambientes desfavoráveis ( $\beta_1$ ) e a resposta linear aos ambientes favoráveis ( $\beta_1 + \beta_2$ ). A estabilidade dos genótipos também é medida pelo desvio da regressão  $\sigma_{\delta_i}^2$  de cada genótipo, em função das variações ambientais.

Já os métodos não-paramétricos, são mais simples e de fácil interpretação. Além disso, permite expressar em poucas medidas o comportamento do genótipo em termos de produtividade, bem como sua capacidade de resposta às variações ambientais (CRUZ e CARNEIRO, 2003).

O método não-paramétrico proposto por Lin e Binns (1988) consiste em estimar a parâmetro  $P_i$  de cada genótipo, com base no quadrado médio da distância entre a resposta do genótipo que apresenta produtividade máxima, entre todos os genótipos de um determinado ambiente. Assim o genótipo ideal é o que apresenta elevada média de produtividade e a menor estimativa de  $P_i$ , pois apresenta o melhor desempenho no maior número de ambientes.

Carneiro (1998) fez modificações na metodologia Lin e Binns (1988) e propôs a decomposição do estimador  $P_i$  nas partes devidas à ambientes favoráveis e desfavoráveis. Além disso, introduziu o conceito de genótipos ideal proposto por Verma *et al.* (1978), como aquele que possui baixa resposta a ambientes desfavoráveis, porém é responsivo a condições favoráveis. Assim, genótipos com menores estimativas possuem menor distância do genótipo ideal, compilando adaptabilidade e estabilidade.

O objetivo geral deste trabalho foi estudar a interação genótipos  $\times$  ambientes e comparar os métodos de estratificação, adaptabilidade e estabilidade no melhoramento de soja. Esse trabalho foi dividido em dois capítulos que enfatizam cada objetivo específico: (1) comparar as estratificações ambientais realizadas por meio dos métodos de Lin (1982) e GGE biplot; (2) comparar os métodos de adaptabilidade e estabilidade de Eberhart e Russell (1966), Cruz *et al.* (1989) e Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998), e selecionar as cultivares de soja que possuam alta adaptabilidade, estabilidade e produtividade de grãos. Os capítulos foram escritos na forma de artigos científicos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARANTES, N. E.; ZITO, R. K.; ZANETTI, A. L.; FRONZA, V.; LISEI DE SÁ, M.E. **Cultivares de soja – Minas Gerais e Região Central do Brasil – safra 2010/2011** – Londrina - PR: Embrapa Soja, 2010. 47p.

BRANQUINHO, R.G.; DUARTE, J.B.; SOUZA, P.I.M. de ; SILVA NETO, S.P. da; 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.

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

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **GRÃOS - 12º Levantamento da Safra 2018/19 - Setembro/2019**. Disponível em <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>> Acesso em:16 de janeiro de 2020.

CRUZ, C.D.; CARNEIRO, P.C.S, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 1 ed. Viçosa: UFV, 2003. v.2, 585 p.

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

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

CRUZ, C. D.; TORRES, R. A.; VENCOVSKY, R. An alternative approach to the stability analysis proposed by Silva and Barreto. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v. 12, p. 567-580, 1989.

DECICINO, T. 2016. **A importância do posicionamento de cultivares de soja para o sucesso da cultura**. Disponível em <[http://www.monsoy.com.br/site/wp-content/uploads/2016/08/job\\_02\\_97\\_informativos\\_tecnicos4\\_ano4\\_n9\\_ok\\_atualizado\\_ok.pdf](http://www.monsoy.com.br/site/wp-content/uploads/2016/08/job_02_97_informativos_tecnicos4_ano4_n9_ok_atualizado_ok.pdf)> Acesso em 02 out 2019.

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

EMBRAPA SOJA. **Tecnologias de produção de soja – região central do Brasil – 2009 e 2010** – Londrina - PR: Embrapa Soja, 2008. 262p. (Sistemas de Produção / Embrapa Soja, n.13).

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

HONGYO, K.; SILVA, F. de L.; OLIVEIRA, A. C. S. de; SARTI, D. A.; ARAÚJO, L. B. de; DIAS, C.T. dos S. Comparação entre os modelos AMMI e GGE biplot para os

dados de ensaios multi-ambientais. **Revista Brasileira de Biometria**, São Paulo, v.33, n.2, p.139-155, 2015.

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

LIN, C.S. Grouping genotypes by a cluster method directly related to genotype-environment interaction mean-square. **Theoretical and Applied**, New York, v. 62, p.277-280, 1982.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Formulários para Registro de Cultivares**. Disponível em < <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/sementes-e-mudas/registro-nacional-de-cultivares-2013-rnc-1/formularios-para-registro-de-cultivares> > Acesso em 06 de junho de 2020.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Registro Nacional de Cultivares – RNC**. Disponível em < [http://sistemas.agricultura.gov.br/snpc/cultivarweb/cultivares\\_registradas.php](http://sistemas.agricultura.gov.br/snpc/cultivarweb/cultivares_registradas.php) > Acesso em 30 de março de 2020.

MUNDSTOCK, C.M.; THOMAS, A. L. **Soja: fatores que afetam o crescimento e o rendimento de grãos**. Porto Alegre: Evangraf, 2005. 31 p.

PINHO, I. V. V. 2016. **A interação dos genótipos x ambientes na cultura da soja e o risco na recomendação de novas linhagens**. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG, 133 p.

RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. ZIMMERMANN, M. J. O. **Genética quantitativa em plantas autógamas**. Goiânia: UFG, 1993. 272 p.

SEDYAMA, T. **Melhoramento genético da soja**. Lodrina: Mecenas, 2015. 352 p.

VERMA, M. M; CHAHAL, G.S; MURTY, B.R. Limitations of conventional regression analysis a proposed modification. **Theoretical and Applied Genetics**, v.53, n.2, p. 89-91, 1978.

YAN, W.; HUNT, L. A.; SHENG, Q.; SZLAVNICS, Z. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE Biplot. **Crop Science**, v.40, n.3, p.597-605, 2000.

**ARTIGO 1: Métodos de estratificação ambiental no melhoramento da soja**

## RESUMO

Os programas de melhoramento de soja das empresas de pesquisas públicas e privadas conduzem, anualmente, ensaios para avaliar o desempenho de linhagens e também das cultivares de soja já existentes no mercado nas diversas regiões do Brasil. Para fim de otimizar a rede de ensaios, há necessidade de métodos de estratificação eficientes que forneçam informações contundentes a respeito das similaridades dos ambientes. O objetivo deste trabalho foi comparar as estratificações ambientais realizadas por meio dos métodos de Lin (1982) e GGE biplot. Para tanto, foram utilizados dados experimentais de uma rede de ensaios de soja no estado de Mato Grosso do Sul, Brasil. Os ensaios foram conduzidos em oito unidades de pesquisa da Fundação MS, localizadas nos municípios: Antônio João, Amambai, Bonito, Caarapó, Maracaju, Naviraí, Rio Brillhante e Sidrolândia, no estado de Mato Grosso do Sul, durante as safras 2015/2016, 2016/2017 e 2017/2018. Os experimentos foram implantados em delineamento em blocos casualizados, com cultivares de soja de dois ciclos (precoce e semiprecoce) e duas repetições. Os resultados obtidos nos métodos de Lin (1982) e GGE biplot foram similares para os agrupamentos dos ambientes. No entanto, os agrupamentos indicados pelo método GGE biplot apresentaram uma maior coincidência ao longo das safras.

**Palavras-chave:** *Glycine max*, agrupamento, produtividade.

**ABSTRACT**

Soybean breeding programs from either public or private research companies conduct annual tests to evaluate the performance of new lines and cultivars of soybean in several regions of Brazil. To optimize the trials network, it is necessary to perform efficient methods of stratification, which may provide reliable information regarding similarities between environments. This work aimed to compare environmental stratifications by using methods of Lin (1982) and GGE biplot, exploiting data from soybean tests network performed in the state of Mato Grosso do Sul, Brazil. The trials were carried out in eight research units belonging to MS Foundation, located in the municipalities: Antônio João, Amambai, Bonito, Caarapó, Maracaju, Naviraí, Rio Brilhante and Sidrolândia, in the state of Mato Grosso do Sul, during the 2015/2016, 2016/2017 and 2017/2018 crop seasons. The experiments were performed in a randomized block design, with two types of soybean cycles (early and semi-early) and two replications. The results obtained by Lin (1982) and GGE biplot methods were similar for environment clusters. The clusters indicated by the GGE biplot method showed a higher coincidence over the crop seasons.

**Keywords:** *Glycine max*, clustering, yield.

## INTRODUÇÃO

A soja é uma espécie sensível ao fotoperíodo e considerada planta de dia curto. O desempenho da lavoura de soja está relacionado às condições de fotoperíodo, temperatura e umidade em que está submetida (BEZERRA, 2019). O ciclo da cultivar de soja aumenta com a latitude (norte para sul), e também com a altitude devido ao decréscimo da temperatura (ARANTES *et al.*, 2010). Portanto, a depender da condição ambiental em que será exposta, as cultivares de soja de diferentes ciclos de maturação poderão apresentar diferentes repostas em função da interação com o ambiente. Branquinho *et al.* (2014) realizaram estudo de estratificação com a divisão do material genético de soja de acordo o ciclo de maturação.

Em uma rede experimental que contempla vários ambientes para avaliação das cultivares, a estratificação ambiental, consiste em subdividir a região de adaptação da cultura em sub-regiões mais homogêneas. Isso possibilita a tomada de decisões com relação a descartes de ambientes quando existem problemas técnicos ou escassez de recursos, bem como a identificação de grupos de ambientes em que a interação possa ser não significativa para o conjunto de genótipos disponíveis (CRUZ *et al.*, 2012).

Além de reduzir custos, o estabelecimento de sub-regiões, pode ser uma boa alternativa para as empresas. Estas podem explorar a interação G×E através do estabelecimento de zonas específicas de recomendação e possível desenvolvimento de cultivares para tais sub-regiões (BRANQUINHO, 2011).

Um método bastante utilizado para o agrupamento de ambientes, baseia-se no algoritmo de Lin (1982). Este método obtém a soma de quadrados entre genótipos e pares de ambientes e agrupa inicialmente os pares de ambientes cuja interação não é significativa. Repete-se esse procedimento, obtendo a soma de quadrados entre genótipos e o par de ambientes agrupados, adicionado aos demais ambientes. Emprega-se o teste F para verificar se a inclusão do novo ambiente é recomendável.

O método GGE biplot (YAN *et al.*, 2000) se diferencia do método proposto por Lin (1982), por permitir o agrupamento de ambientes cuja interação G×E seja significativa e predominantemente tipo simples. Portanto, ele agrupa o efeito do genótipo com a interação G×E e utiliza componentes principais para a delimitação dos estratos, identificação de locais de teste e recomendação dos genótipos superiores. A identificação dos estratos é baseada na abordagem dos genótipos vencedores (GAUCH e ZOBEL, 1997), os quais ocupam posições extremas no gráfico resultante, denominado biplot.

Os programas de melhoramento de soja das empresas de pesquisas públicas e privadas conduzem, anualmente, ensaios para avaliar o desempenho de linhagens e também das cultivares de soja já existentes no mercado, em diversas regiões do Brasil. Para o fim de otimizar a rede de ensaios há necessidade de métodos de estratificação eficientes que forneçam informações contundentes a respeito das similaridades dos ambientes.

O objetivo deste trabalho foi comparar as estratificações ambientais realizadas por meio dos métodos de Lin (1982) e GGE biplot. Para tanto, foram utilizados dados experimentais de uma rede de ensaios de soja no estado de Mato Grosso do Sul.

## MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios foram conduzidos em oito unidades de pesquisa da Fundação MS - Pesquisa e Difusão de Tecnologias Agropecuárias, localizadas nos municípios no estado de Mato Grosso do Sul (Tabela 1) (Figura 1), durante as safras 2015/2016, 2016/2017 e 2017/2018.

Tabela 1. Informações dos ambientes dos ensaios no estado de Mato Grosso do Sul, nos anos agrícolas 2015/2016, 2016/2017 e 2017/2018

Ambientes	CÓD <sup>1</sup>	Sigla	REC <sup>2</sup>	Localização		Altitude (m)	Temperatura média anual
				Latitude	Longitude		
Antônio João	A1	ANTJ	204	22° 11' S	55° 47' O	590	21,4 °C
Amambaí	A2	AMA	202	23° 00' S	53° 19' O	425	21,8 °C
Bonito	A3	BON	204	21° 05' S	56° 31' O	405	23,7 °C
Caarapó	A4	CAA	202	22° 45' S	54° 47' O	390	22,5 °C
Maracaju	A5	MAR	204	21° 38' S	55° 06' O	360	23,4 °C
Naviraí	A6	NAV	202	22° 59' S	54° 06' O	370	22,4 °C
Rio Brilhante	A7	RIOB	204	21°50' S	54° 32' O	310	23,7 °C
Sidrolândia	A8	SID	204	21° 00' S	54° 59' O	450	23,1 °C

<sup>1</sup>CÓD : Códigos associados aos ambientes;

<sup>2</sup>REC: Regiões edafoclimáticas (MAPA, 2012)

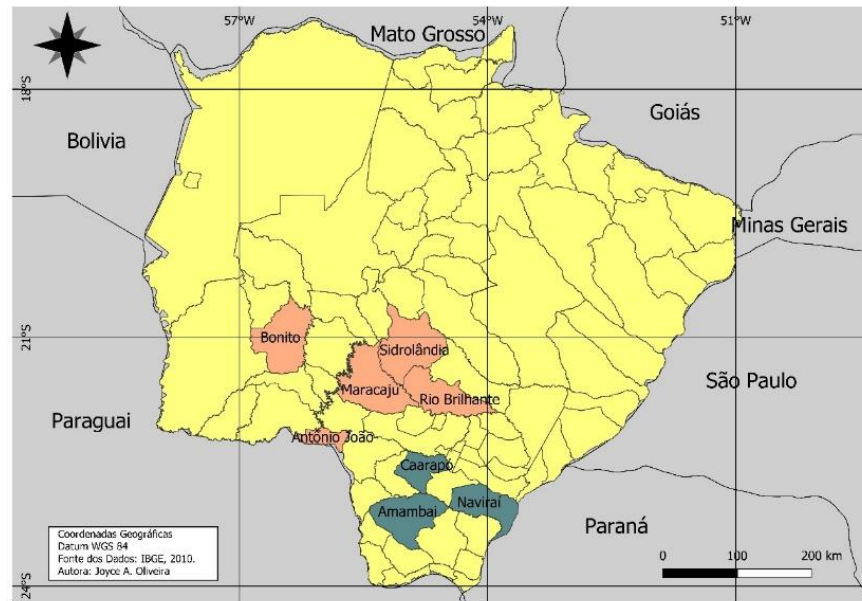


Figura 1. Mapa com os nove ambientes de estudo, sendo os locais identificados de azul e rosa classificados na região edafoclimáticas 202 e 204 (MAPA, 2012), respectivamente.

A Figura 2, mostra a precipitação pluviométrica total mensal registrada nos ambientes, durante as safras de 2015/2016, 2016/2017 e 2017/2018.

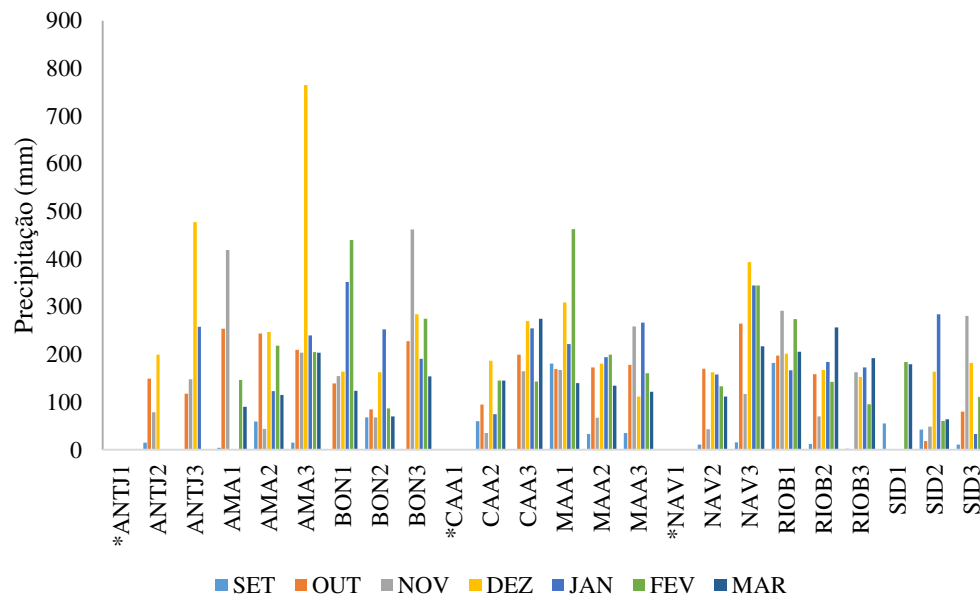


Figura 2. Precipitação pluviométrica total mensal registrada no período de condução dos ensaios nos ambientes avaliados. Obs: \*Ambientes com dados não registrados. (Fonte: Fundação MS – Tecnologia e Produção Soja 2015/2016 (1), 2016/2017 (2) e 2017/2018 (3) e Cemtec)

Utilizou-se cultivares de soja que possuem comportamento de ciclo precoce (101-110 dias) e semiprecoce (111-120 dias) (Tabela 2).

Tabela 2. Códigos (Cód.) e classificação, conforme o ciclo, das cultivares utilizadas nos ensaios no estado de Mato Grosso do Sul, nos anos agrícolas 2015/2016, 2016/2017 e 2017/2018.

Safra	Cód	Ciclos			
		Precoce	GMR <sup>1</sup>	Semiprecoce	GMR
2015/ 2016	G1	NS 6909 IPRO	6.3	NS 7237 IPRO	7.3
	G2	NS 6906 IPRO	6.5	BRASMAX ÍCONE IPRO	6.8
	G3	BRASMAX GARRA IPRO	6.3	BRASMAX VALENTE RR	6.7
	G4	TEC 6702 IPRO	6.7	BRS 388 RR	6.4
	G5	BRS 360 RR	6.0	SYN 13671 IPRO	6.7
	G6	SYN 13561 IPRO	5.6	CD 2728 IPRO	6.8
2016/ 2017	G1	NS 6390 IPRO	6.3	NS 6828 IPRO	6.5
	G2	BRASMAX GARRA IPRO	6.3	NS 7709 IPRO	7.2
	G3	TEC 6702 IPRO	6.7	BRASMAX ÍCONE IPRO	6.8
	G4	ADV 4317 IPRO	6.3	BRASMAX POTÊNCIA RR	6.7
	G5	BRS 413 RR	6.2	NS 6823 RR	6.7
	G6	FTR 2161 RR	6.1	TMG 7063 IPRO - INOX	6.3
	G7	FTR 3156 IPRO	5.6	BRS 388 RR	6.4
	G8	FTR 4160 IPRO	6.0	BRS 1001 IPRO	6.2
	G9	M5947 IPRO	5.9	BRS 1003 IPRO	6.3
2017/ 2018	G1	FTR2557-RR	5.7	AS3680-IPRO	6.8
	G2	FTR4160-IPRO	6.0	BMX-POTÊNCIA-RR	6.7
	G3	M5947-IPRO	5.9	BRS1003-IPRO	6.3
	G4	NS6535-IPRO	6.5	NS6601-IPRO	6.6
	G5	NS6906-IPRO	6.5	NS6823-RR	6.7
	G6	TEC6702-IPRO	6.7	NS6828-IPRO	6.5
	G7	XI590903IPRO	5.9	SYN1562-IPRO	6.2

<sup>1</sup>: Grupo de maturidade reativa

Os experimentos foram implantados em delineamento em blocos casualizados, com duas repetições. A unidade experimental foi composta de cinco fileiras de plantas, com 12 metros de comprimento, espaçadas a 0,5 metro entre fileiras. Para densidade de semeadura, considerou-se a recomendação para cada cultivar (PITOL *et al.*, 2016; BEZERRA *et al.* 2017, 2018). Em cada unidade experimental foi avaliado a produtividade de grãos, por meio da colheita das três fileiras centrais (área útil), sendo corrigido para 13% de umidade e extrapolada para sc ha<sup>-1</sup>.

A Tabela 3 indica a data em que foi realizada a semeadura das cultivares precoce e semiprecoce nos ambientes dos ensaios no estado de Mato Grosso do Sul.

Tabela 3. Data de semeadura nos ambientes do estado de Mato Grosso do Sul, dos anos agrícolas 2015/2016, 2016/2017 e 2017/2018.

Setembro		Outubro				Novembro	
2ª quinzena		1ª quinzena		2ª quinzena		1ª quinzena	
Ambientes <sup>1</sup>	Data de semeadura	Ambientes	Data de semeadura	Ambientes	Data de semeadura	Ambientes	Data de semeadura
		AMA	02/10/2015	CAA	20/10/2015	MAR	07/11/2015
		SID	09/10/2015	RIOB	20/10/2015	BON (P)	10/11/2015
		ANTJ	15/10/2015	NAV	22/10/2015		
				BON (SMP)	28/10/2015		
AMA (SMP)	22/09/2016	RIOB(SMP)	01/10/2016	NAV	18/10/2016		
		ANTJ	07/10/2016	CAA	19/10/2016		
		MAR	09/10/2016	AMA (P)	20/10/2016		
				RIOB(P)	22/10/2016		
				SID	24/10/2016		
				BON	27/10/2016		
		RIOB	01/10/2017	CAA	17/10/2017		
		SID	14/10/2017	MAR	17/10/2017		
				NAV	18/10/2017		
				AMA	25/10/2017		
				ANTJ	26/10/2017		
				BON	30/10/2017		

1 : Ambientes seguidos (P) e (SMP), corresponde a data de semeadura de cultivares do ciclo precoce e semiprecoce, respectivamente. Ambientes sem estas indicações, significam que cultivares do ciclo precoce e semiprecoce foram semeadas na mesma data.

Fez-se a análise de variância para cada safra, para verificar a presença de interação genótipos × ambientes, de acordo o modelo estatístico da Equação 1:

(1)

$$Y_{ijk} = \mu + G_i + E_j + GE_{ij} + B/E_{jk} + \varepsilon_{ijk}$$

em que:

$Y_{ijk}$  : é o valor observado na parcela que recebeu o i-ésimo genótipo, no k-ésimo bloco, e j-ésimo ambiente.

$\mu$  : é a média geral;

$G_i, E_j$  : são os efeitos do i-ésimo genótipo e do j-ésimo ambiente, respectivamente, ambos considerados como fixos;

$GE_{ij}$  : efeitos da interação do i-ésimo genótipo com o j-ésimo ambiente

$B/E_{jk}$  : efeito do k-ésimo bloco dentro do j-ésimo ambiente

$\varepsilon_{ijk}$  : é o erro experimental na parcela que recebeu o i-ésimo genótipo, no k-ésimo bloco e j-ésimo ambiente.

Para estratificação ambiental foi feita uma comparação utilizando dois métodos:

O algoritmo de Lin (1982), consiste em estimar a soma de quadrados para a interação entre genótipos e pares de ambientes e, posteriormente, agrupar aqueles ambientes cuja interação é não significativa (CRUZ *et al.*, 2012). Utilizou-se a Equação 2, para estimar a soma dos quadrados entre genótipos e pares de ambientes, em nível de média de parcelas:

(2)

$$SQGA_{jj'} = \theta_{jj'} = \frac{1}{2} \left[ d_{jj'}^2 - \frac{1}{g} (Y_j - Y_{j'})^2 \right]$$

em que (Equação 3):

(3)

$$d_{jj'}^2 = \sum_i (Y_{ij} - Y_{ij'})^2$$

Sendo que o valor  $d_{jj'}^2$ , expressa o quadrado da distância euclidiana entre os ambientes j e j', com base no comportamento médio de g cultivares.

Utilizou-se o software Genes (CRUZ, 2013) para a realização dessa análise.

O método de estratificação GGE biplot (YAN *et al.*, 2000), emprega a abordagem do genótipo vencedor, formando grupos de ambientes identificados por meio de gráficos.

O método GGE biplot foi empregado de acordo a Equação 4.

(4)

$$Y_{ij} - y_j = \lambda_1 \alpha_{i1} \beta_{j1} + \lambda_2 \alpha_{i2} \beta_{j2} + \varepsilon_{ij}$$

em que:

$Y_{ij}$  : é a produtividade média do genótipo i no ambiente j;

$y_j$  : é a média geral dos genótipos no ambiente j;

$\lambda_1$  e  $\lambda_2$  : são os valores singulares associado ao primeiro e segundo componentes principais, respectivamente;

$\alpha_{i1}$  e  $\alpha_{i2}$  : são os dois primeiros autovetores para o i-ésimo genótipo;

$\beta_{j1}$  e  $\beta_{j2}$  são os dois primeiros autovetores para o j-ésimo ambiente;

$\varepsilon_{ij}$  : é o erro associado ao modelo bidimensional, ou seja, a porcentagem dos efeitos G + G×E não explicada pelos dois primeiros componentes principais.

Esta análise foi realizada com o software R por meio do pacote “GGEBiplotGUI”.

Os métodos foram comparados de acordo a porcentagem de coincidência dos ambientes agrupados ao longo dos anos, onde considerou o número de ambientes que foram agrupados e que estavam presentes em pelo menos duas safras, dividido pelo número total de ambientes agrupados no grupo.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância conjunta mostrou efeito significativo ( $p \leq 0,01$ ) para todas as fontes de variação em cada safra, exceto para a interação G×E, na safra 2017/2018 para as cultivares de ciclo semiprecoce (Tabela 4).

Tabela 4. Análise de variância conjunta da produtividade de grãos ( $sc\ ha^{-1}$ ) das cultivares de soja de ciclo precoce e semiprecoce avaliados em oito ambientes no Mato Grosso do Sul, Brasil, nas safras 2015/2016, 2016/2017 e 2017/2018.

Fontes de variação	Precoce					
	2015/2016		2016/2017		2017/2018	
	GL	QM	GL	QM	GL	QM
Blocos Ambientes	8	103,21	8	44,93	8	51,00
Ambientes (E)	7	2012,22**	7	1446,25**	7	468,99**
Genótipos (G)	5	287,85**	8	236,36**	6	205,12**
G x E	35	59,50**	56	63,18**	42	81,57**
Resíduo	40	23,78	64	23,91	48	27,52
Fontes de variação	Semiprecoce					
	2015/2016		2016/2017		2017/2018	
	GL	QM	GL	QM	GL	QM
Blocos Ambientes	8	28,86	8	25,87	8	45,93
Ambientes (E)	7	1964,24**	7	1320,99**	7	812,36**
Genótipos (G)	5	362,45**	8	82,98**	6	160,07**
G x E	35	63,98**	56	51,4**	42	35,19 <sup>ns</sup>
Resíduo	40	28,18	64	12,75	48	28,49

<sup>ns</sup> e \*\*: não significativo e significativo a 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Devido a significância da interação G×E nas safras, foi feita a estratificação dos ambientes. Segundo Cruz *et al.* (2012), é recomendável a estratificação da região de adaptação da cultura em sub-regiões mais homogêneas, afim de contornar os inconvenientes proporcionados pela interação genótipos × ambientes.

Para o agrupamento dos ambientes, utilizou-se o método baseado no algoritmo de Lin (1982) (Tabela 5). Na safra 2015/2016 observou a formação de 4 grupos, sendo que

o maior grupo foi constituído pelos ambientes Bonito, Sidrolândia, Caarapó, Amambai, Maracaju e Antônio João. Nas demais safras, houve alteração na formação dos grupos, no entanto, os ambientes Amambai, Bonito e Caarapó mantiveram-se agrupados ao longo das 3 safras, o que indica uma alta similaridade desses ambientes. Rio Brillhante e Sidrolândia também estiveram presentes nos mesmos grupos nas duas últimas safras.

Tabela 5. Estratificação ambiental pelo método de Lin (1982) aplicado à produtividade de grãos ( $sc\ ha^{-1}$ ) de cultivares de soja de ciclo precoce, avaliados em oito ambientes do Mato Grosso do Sul, Brasil, nas safras 2015/2016, 2016/2017 e 2017/2018.

2015/2016			2016/2017			2017/2018		
Grupos	Ambientes <sup>1</sup>	F calc	Grupos	Locais	F calc	Grupos	Ambientes	F calc
I	BON,SID, CAA,AMA, MAR,ANTJ	1,43	I	AMA,NAV, BON, CAA,RIOB	1,47	I	BON, SID, MAR,RIOB, NAV, CAA, AMA	1,59
II	ANTJ,NAV	0,89	II	RIOB,SID	0,78			
III	NAV,SID	1,72	III	RIOB,SID, MAR	1,76			
IV	BON,NAV	2,06						

<sup>1</sup> Siglas especificadas na Tabela 1.

De acordo Xu *et al.* (2014), quando se tem diferentes anos de avaliação, nem sempre ocorrerá o agrupamento dos mesmos locais, devido as oscilações climáticas, e demais variações relacionadas às características de solo e tratos culturais.

Para as cultivares consideradas de ciclo semiprecoce, houve uma menor formação de grupos (Tabela 6), em comparação as de ciclo precoce. Notou-se que o ambiente Caarapó se manteve agrupado com Bonito e Sidrolândia ao longo das três safras. Da mesma forma, Maracaju agrupou-se com Sidrolândia. No entanto, na última safra não houve diferença entre os ambientes, o que indica uma alta similaridade entre os mesmos.

Tabela 6. Estratificação ambiental pelo método de Lin (1982) aplicado a produtividade de grãos ( $sc\ ha^{-1}$ ) de cultivares de soja de ciclo semiprecoce, avaliados em oito ambientes do Mato Grosso do Sul para cada uma das safras 2015/2016, 2016/2017 e 2017/2018.

2015/2016			2016/2017			2017/2018		
Grupos	Ambientes	F calc	Grupos	Locais	F calc	Grupos	Ambientes	F calc
I	CAA,MAR, BON,SID, AMA,ANTJ	1,06	I	CAA,NAV, SID	1,715	I	Todos	
II	BON,RIOB	2,09	II	BON,CAA	1,66			
			III	MAR,SID	1,985			

Estudos voltados para a estratificação ambiental com a cultura da soja utilizaram o método tradicional de Lin (1982) em comparação com outros métodos. Mendonça *et al.* (2007) comparou o método tradicional de Lin (1982) com a análise de fatores aliada ao porcentual de parte simples (PS%) da interação genótipo vs. ambiente (G×E), sendo esta mais seletiva no processo de estratificação. Entretanto, Peluzio *et al.* (2012) ao comparar dois métodos de agrupamentos de ambientes, Lin (1982) e o método de dissimilaridade ambiental (CRUZ e REGAZZI, 2007), notou que houve concordância entre os métodos quanto ao número de grupos formados, mas não quanto à composição do grupo. A inexistência de estudos que compara o método de Lin (1982) com métodos que considera a abordagem de genótipos vencedores, denota a relevância desse trabalho.

Na metodologia de análise gráfica GGE biplot (Figura 3), os estratos foram definidos com base nas linhas traçadas a partir da origem do biplot, perpendiculares ao polígono formado, ligando todos os genótipos vencedores, situados no vértice de cada estrato.

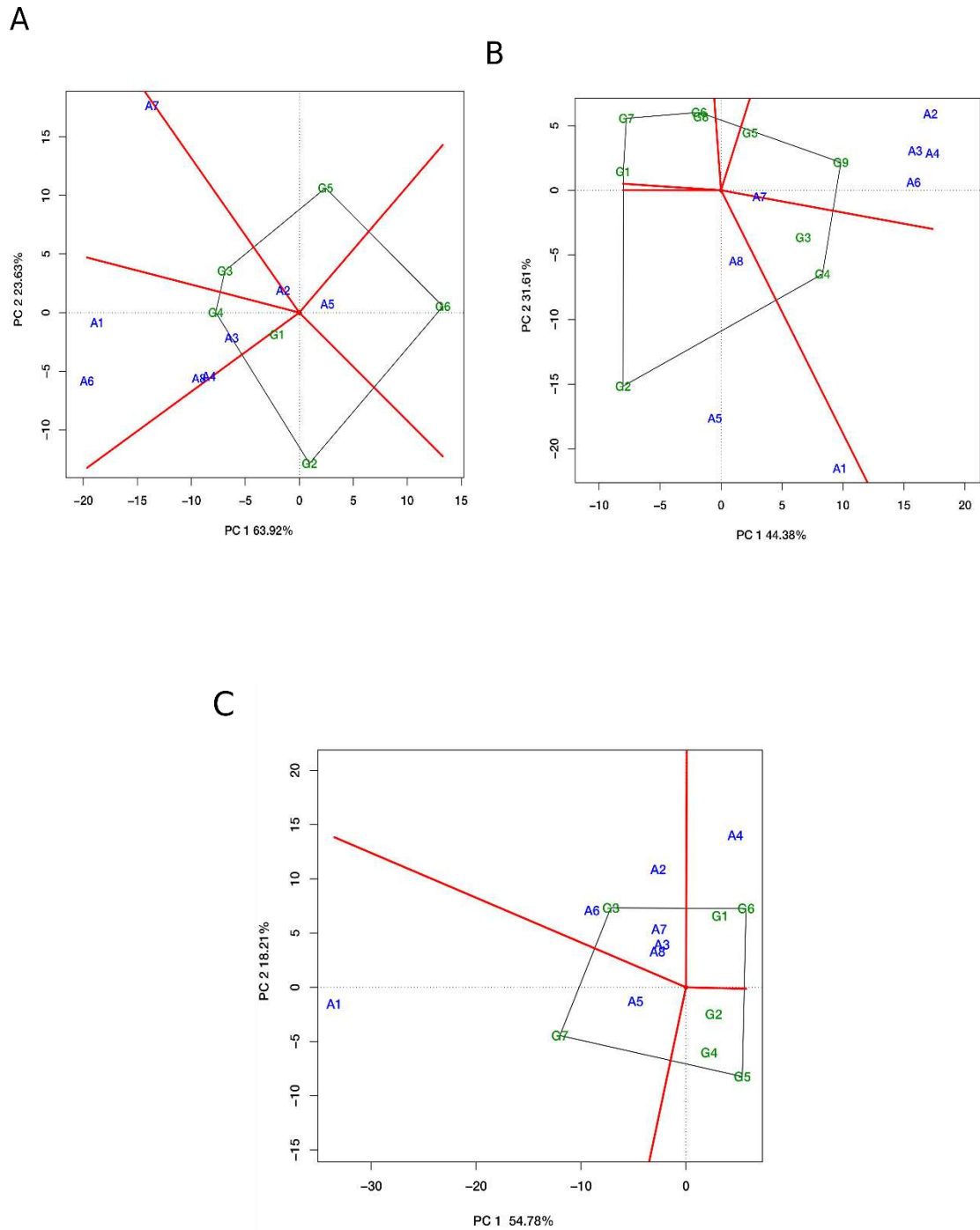


Figura 3. Estratificação com a metodologia de análise GGE biplot para a produtividade de grãos de cultivares de soja de ciclo precoce, em oito ambientes do Mato Grosso do Sul, Brasil, nas safras 2015/2016 (A), 2016/2017 (B), 2017/2018 (C). Os códigos de ambientes (A1 a A8) e genótipos (G1 a G9) estão especificados nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

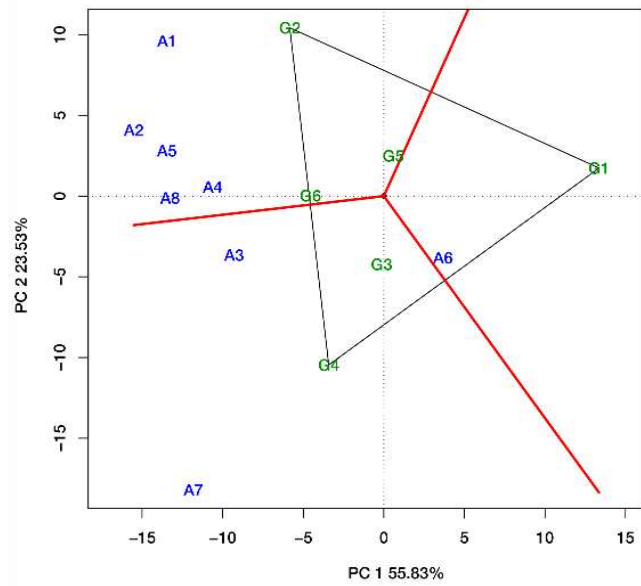
Para as cultivares de ciclo precoce, na safra 2015/2016 (Figura 3 - A) houve a formação de 2 grupos. O mega-ambiente 1 constituído pela maioria dos locais Antônio João (A1), Bonito (A3), Caarapó (A4), Naviraí (A6) e Sidrolândia (A8). O mega-ambiente 2 foi composto por Amambai (A2) e Rio Brilhante (A7). Maracaju não se agrupou (A5).

Já na safra 2016/2017 (Figura 3 - B) houve a formação de dois agrupamentos. O mega-ambiente 1 incluiu Amambai (A2), Bonito (A3), Caarapó (A4), Naviraí (A6), e Rio Brilhante (A7). O mega-ambiente 2 consistiu em Antônio João (A1), Maracaju (A5) e Sidrolândia (A8).

Assim como nas safras anteriores, a safra de 2017/2018 (Figura 3 - C) formou um grupo com a maioria dos ambientes, sendo o mega-ambiente 1 constituído por Amambai (A2), Bonito (A3), Naviraí (A6), Rio Brilhante (A7) e Sidrolândia (A8). Os ambientes Antônio João (A1) e Maracaju (A5) se agruparam, formando o mega-ambiente 2. Caarapó (A4) não se agrupou com os demais.

Para as cultivares semiprecoces, na safra 2015/2016 (Figura 4) o maior grupo incluiu Antônio João (A1), Amambaí (A2), Caarapó (A4), Maracajú (A5), Sidrolândia (A8), formando o mega-ambiente 1. Os ambientes Rio Brilhante (A7) e Bonito (A3) ficaram no mesmo estrato (mega-ambiente 2), e Naviraí (A6) não se agrupou. Já na safra 2016/2017, o maior grupo, formou o mega-ambiente 1 composto por Antônio João (A1), Amambai (A2), Maracaju (A5) e Sidrolândia (A8). Bonito (A3), Naviraí (A6) e Rio Brilhante (A7) formaram o mega-ambiente 2. Caarapó (A4) não se agrupou.

A



B

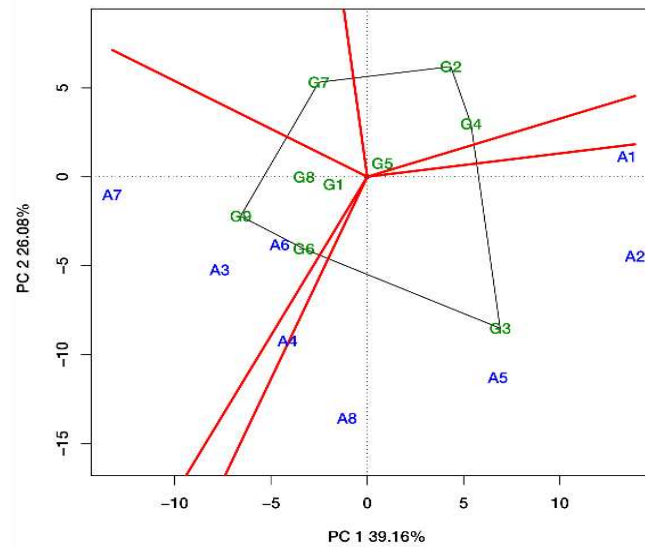


Figura 4. Estratificação com a metodologia de análise GGE biplot para a produtividade de grãos de cultivares de soja de ciclo semiprecoce, em oito ambientes do Mato Grosso do Sul, Brasil, nas safras 2015/2016 (A), 2016/2017 (B). Os códigos de ambientes (A1 a A8) e genótipos (G1 a G9) estão especificados nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

Os componentes principais (PC1 e PC2) explicaram 87,55% para a safra 2015/2016, 75,99% para a safra 2016/2017 e 72,99% para a safra 2017/2018, da variação total do G + G×E (Figura 5).

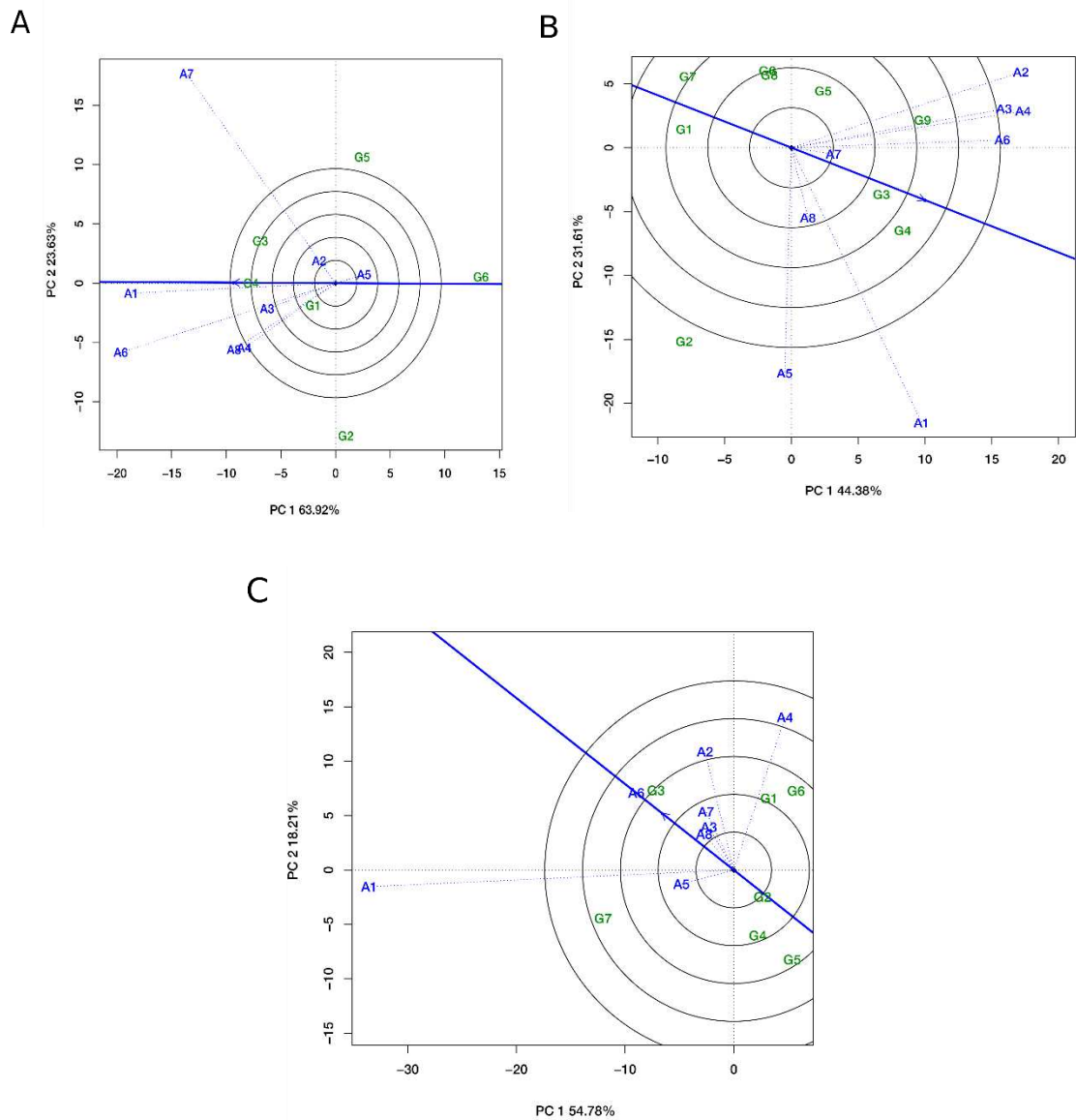


Figura 5. GGE biplot “Discriminação e representatividade” dos ambientes de Mato Grosso do Sul, Brasil, em ensaios com cultivares de soja do ciclo precoce, nas safras 2015/2016 (A), 2016/2017 (B) e 2017/2018 (C). Os códigos de ambientes (A1 a A8) e genótipos (G1 a G9) estão especificados nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

O GGE biplot, além da identificação de mega-ambientes, permite selecionar ambientes discriminativos e representativos (Figura 5). As linhas que ligam a origem do biplot até os ambientes são chamados de Vetores de Ambientes. O comprimento do vetor de um ambiente é proporcional ao desvio-padrão das médias de genótipos. Os ambientes com vetores curto são menos discriminantes em relação aos genótipos, ou seja, todos os genótipos tendem a se comportarem de forma semelhante e pouca ou nenhuma informação sobre as diferenças genotípicas podem ser reveladas pelo ambiente, não sendo indicados como ambientes de teste. Já os ambientes com vetores longos são mais discriminantes (HONGYU *et al.*, 2015).

Em relação a representatividade dos ambientes, a linha reta com uma seta, que passa pela origem do biplot e do ambiente média é denominado “eixo do ambiente-média” ou EAM. Os ambientes mais representativos apresentam pequenos ângulos com EAM, ao contrário daqueles que possui ângulos maiores com o EAM, sendo menos representativos (HONGYU *et al.*, 2015).

Para as cultivares de ciclo precoce, na safra 2015/2016 (Figura 5 – A) o local que reúnem maior poder de discriminação e representatividade no mega-ambiente 1 foi Antônio João (A1). Já no mega-ambiente 2, Rio Brilhante (A7) foi o local mais discriminativo. Na safra 2016/2017 (Figura 5 – B), Amambai (A2) e Caarapó (A4) no mega-ambiente 1, e Antônio João (A1) no mega-ambiente 2, foram os locais discriminantes. Na safra de 2017/2018 (Figura 5 - C) Naviraí (A6) foi o local mais discriminante e representativo para o mega-ambiente 1, e Antônio João (A1) o mais discriminante para o mega-ambiente 2.

Observa-se que Antônio João (A1), foi o ambiente que destacou com maior poder de discriminação ao longo das 3 safras nos megas-ambientes em que foi agrupado. Este ambiente apresenta boa fertilidade, altitude (590 m) e as épocas de semeaduras ao longo dos anos se concentraram no período ideal (Tabela 3), o que pode ter favorecido a expressão do potencial de produtividade das cultivares de ciclo precoce. Portanto Antônio João pode ser utilizado para seleção de genótipos adaptados a ambientes favoráveis.

Segundo Bezerra (2019) os meses de outubro e novembro compreendem a época ideal de semeadura para o estado, pois nestes meses as condições climáticas e fotoperiódicas são propícias ao desenvolvimento da cultura. Além disso, o crescimento em estatura das plantas de soja é maior em regiões de elevadas altitudes, onde normalmente predominam temperaturas mais amenas, quando comparado às regiões mais quentes (MUNDSTOCK e THOMAS, 2005; THOMAS *et al.*, 2010).

Para as cultivares de ciclo semiprecoce (Figura 6), os componentes principais (PC1 e PC2) explicaram 79,36% para a safra 2015/2016 e 65,24% para a safra 2016/2017 da variação total do  $G + G \times E$ .

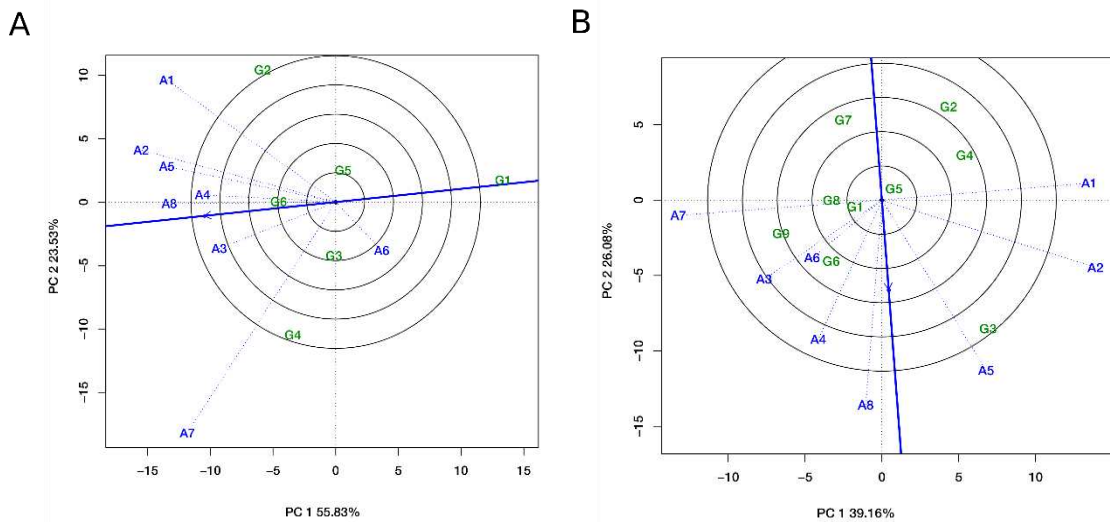


Figura 6. GGE biplot “Discriminação e representatividade” dos ambientes de Mato Grosso do Sul, Brasil, em ensaios com cultivares de soja do ciclo semiprecoce, nas safras 2015/2016 (A) e 2016/2017 (B). Os códigos de ambientes (A1 a A8) e genótipos (G1 a G9) estão especificados nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

Para as cultivares semiprecozes, na safra 2015/2016 (Figura 6-A), Sidrolândia (A8) foi o ambiente que reúne maior poder de discriminação e representatividade do mega-ambiente 1. No mega-ambiente 2, apesar de Rio Brillhante (A7) ser mais discriminante, Bonito (A3) foi mais representativo. Já na safra 2016/2017 (Figura 6-B), no mega-ambiente 1, Sidrolândia (A5) foi o ambiente que mais discriminante e representativo. Rio Brillhante (A7) foi o ambiente mais discriminante para o mega-ambiente 2.

Portanto, para seleção de genótipos de ciclo semiprecoce, Sidrolândia foi o ambiente ideal, pois reúne maior poder de discriminação e representatividade, ao longo dos anos. Segundo Silva *et al.* (2015) ambientes discriminantes e representativos favorecem a seleção de cultivares com adaptação ampla.

A Figura 7 mostra a porcentagem de coincidência dos ambientes agrupados ao longo das safras para as cultivares de soja de ciclo precoce, de acordo os métodos de estratificação de Lin (1982) e GGE biplot.

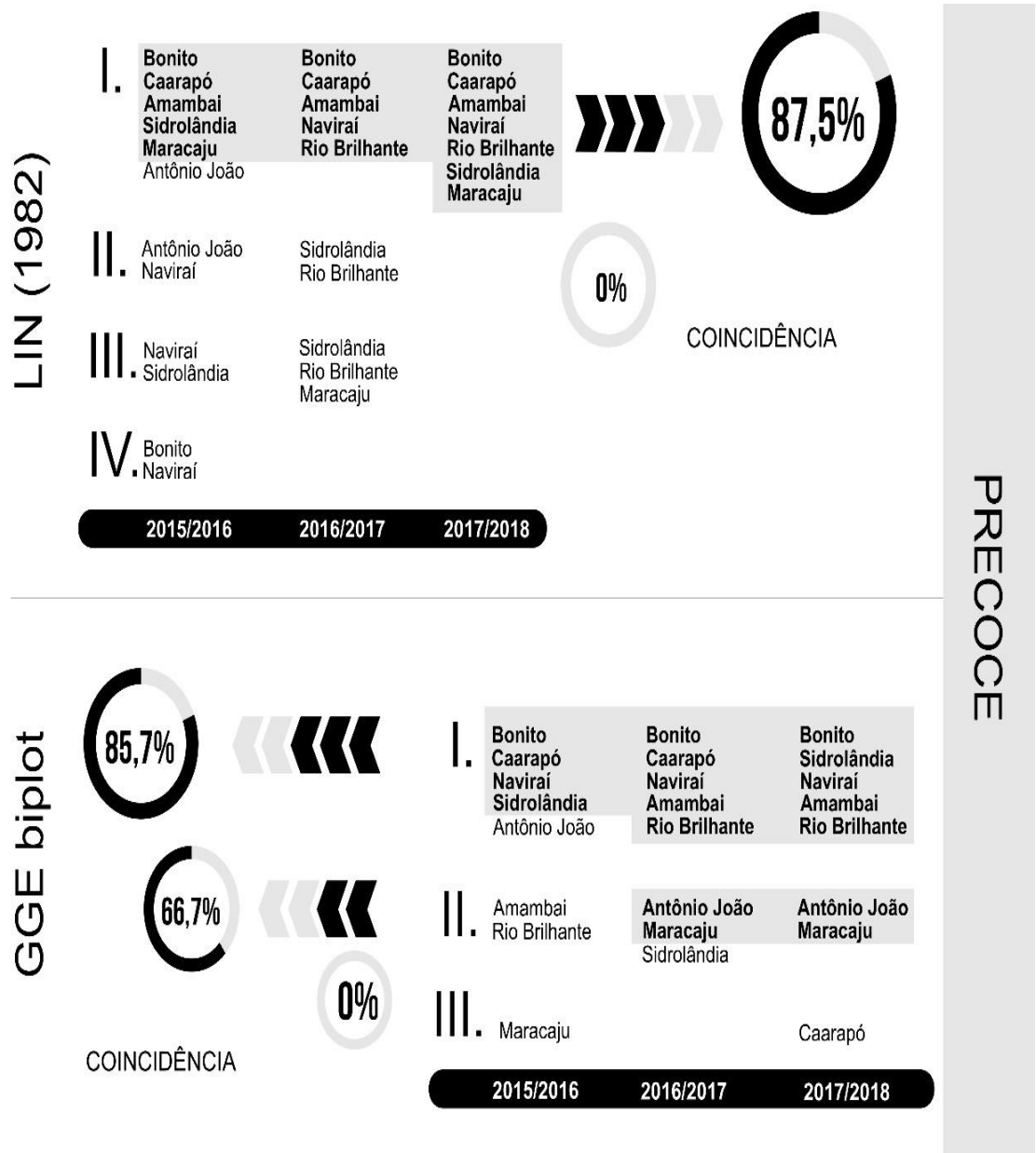


Figura 7. Resumo e porcentagem de coincidência dos ambientes agrupados ao longo das safras na metodologia de Lin (1982) e GGE biplot para a produtividade de grãos das cultivares de soja de ciclo precoce (P). Os nomes destacados em negrito indicam os ambientes que se repetem agrupados ao longo dos anos.

Para os ambientes que contemplaram as cultivares de soja do ciclo precoce (Figura 7), no método de Lin (1982), o grupo 1 teve uma coincidência de 87,5%, ou seja, dos 8 ambientes agrupados, 7 estavam presentes em pelo menos 2 safras.

Já no método GGE biplot (Figura 7), houve coincidência entre dois grupos, sendo que o grupo 1 teve uma porcentagem de 85,7%, e o grupo 2, ao considerar as duas últimas safras, teve uma coincidência de 66,7%. Os dois métodos sugerem a formação de mega-ambiente. No método de Lin, esse mega-ambiente seria formado por 7 locais, e no método do GGE biplot, seriam os mesmos locais, exceto Maracaju que estaria agrupado com Antônio João.

Os ambientes agrupados e indicados pelos dois métodos na formação do mega-ambiente, foram similares. No entanto, não necessariamente esses ambientes agrupados tem as mesmas características edafoclimáticas. Segundo Felipe *et al.* (2010), a estratificação resultante da abordagem de genótipo vencedor pode decorrer principalmente do comportamento altamente adaptado do genótipo vencedor e não, necessariamente, das similaridades edafoclimáticas entre os locais agrupados. Gauch (1992), afirma que se a mesma cultivar, apresenta maior rendimento em mais de uma localidade, estas por sua vez, podem ser agrupadas, por serem considerados similares, formando um mega-ambiente.

O método GGE biplot está em concordância com a classificação das regiões edafoclimáticas, em que Antônio João e Maracaju fazem parte do mesmo grupo (REC – 204) (MAPA, 2012), e ambos fazem parte da região sudoeste do estado (Figura 1).

Para o ciclo semiprecoce (Figura 8), o método GGE biplot agrupou mais ambientes ao longo das duas safras, e teve uma maior porcentagem de coincidência (80%) em comparação com a método de Lin (1982) (28,6 %).

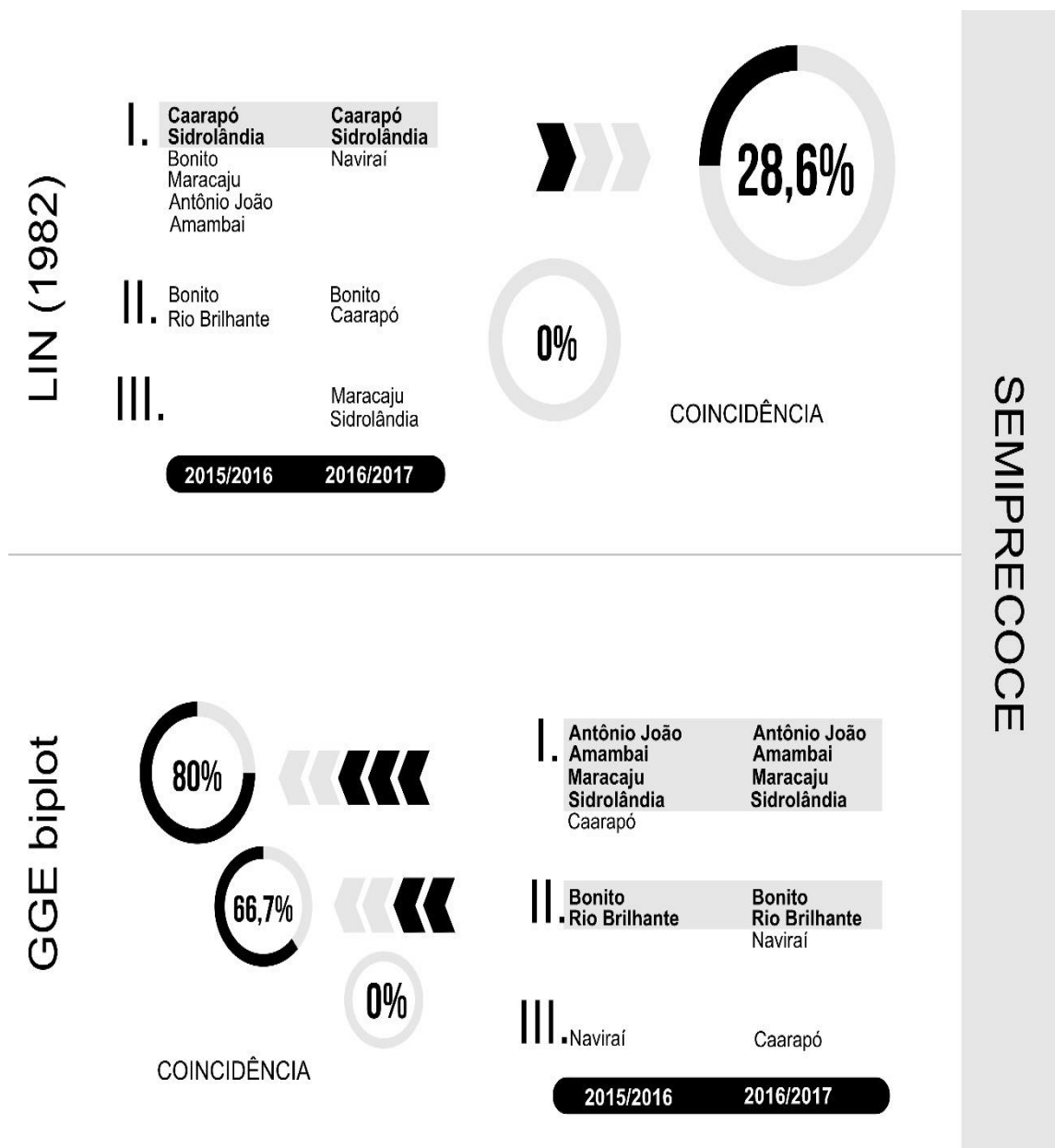


Figura 8. Resumo e porcentagem de coincidência dos ambientes agrupados ao longo das safras na metodologia de Lin (1982) e GGE biplot para a produtividade de grãos das cultivares de soja de ciclo semiprecoce (SP). Os nomes destacados em negrito indicam os ambientes que se repetem agrupados ao longo dos anos.

No método GGE biplot houve a formação de um segundo grupo que teve uma porcentagem de coincidência de 66,7%, formado pelos ambientes (Bonito e Rio Brilhante). Esses dois locais fazem parte da região edafoclimática (204) (MAPA, 2012), e possui a mesma temperatura média anual (23,7 °C).

Silva e Benin (2012), ao comparar o GGE biplot com o AMMI, concluiu que o modelo GGE é mais eficiente ao explorar a interação genótipo  $\times$  ambiente, e possibilita maior acurácia à identificação de mega-ambientes.

## **CONCLUSÕES**

A interação genótipos  $\times$  ambientes significativa para a maioria das safras e ciclos, possibilita a estratificação ambiental da rede de ensaio estudada, exceto para a safra 2017/2018, nas cultivares de ciclo semiprecoce.

Os resultados obtidos nos métodos de Lin (1982) e GGE biplot são similares para os agrupamentos dos ambientes. No entanto, os agrupamentos indicados pelo método GGE biplot apresentam maior coincidência ao longo das safras.

Para as cultivares de ciclo precoce, é possível reunir os locais de ensaios em um mega-ambiente composto por Amambai, Bonito, Caarapó, Naviraí, Rio Brilhante e Sidrolândia, e em outro grupo, os locais Antônio João e Maracaju.

A estratificação da rede de ensaio no Mato Grosso do Sul para as cultivares de ciclo semiprecoce, permite a formação de dois grupos, sendo o primeiro formado por Amambai, Antônio João, Maracaju e Sidrolândia, e o segundo grupo por Rio Brilhante e Bonito.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARANTES, N. E.; ZITO, R. K.; ZANETTI, A. L.; FRONZA, V.; LISEI DE SÁ, M.E. **Cultivares de soja – Minas Gerais e Região Central do Brasil – safra 2010/2011** – Londrina - PR: Embrapa Soja, 2010. 47p.

BEZERRA, A. R. G. Época de semeadura de cultivares de soja no Mato Grosso do Sul. In: LOURENÇÃO, A. L. F.; GRIGOLLI, J. F. J.; GITTI, D. de C.; BEZERRA, A. R. G.; MELOTTO, A. M. **Tecnologia e Produção Soja Safra 2018/2019**. Maracaju: Midiograf, 2019, p.54-62.

BEZERRA, A. R. G.; ERBES, E. J.; ROMEIRO, T. da S.; FREITAS, J.; SAGGIN, A. Resultados de Experimentação e Campos Demonstrativos de Soja – Safra 2016/2017. In: LOURENÇÃO, A. L. F.; BEZERRA, A. R. G.; GRIGOLLI, J. F. J.; GITTI, D. de C.; MELOTTO, A. M. **Tecnologia e Produção Soja Safra 2016/2017**. Curitiba: Midiograf, 2017, p.54-133.

BEZERRA, A. R. G.; ERBES, E. J.; ROMEIRO, T. da S.; GADENZ, L.; FREITAS, J.; LIMA, A.; SAGGIN, A. Resultados de Experimentação e Campos Demonstrativos de Soja – Safra 2017/2018. In: LOURENÇÃO, A. L. F.; GITTI, D. de C.; GRIGOLLI, J. F. J.; BEZERRA, A. R. G.; MELOTTO, A. M. **Tecnologia e Produção Soja Safra 2017/2018**. Curitiba: Midiograf, 2018, p.62-128.

BRANQUINHO, R. G. **Interação genótipo x ambiente em soja com ênfase na estratificação ambiental para a região central do Brasil**. 2011. 146 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) Universidade Federal de Goiás, Goiânia – GO.

BRANQUINHO, R. G.; DUARTE, J.B.; SOUZA, P.I.M. de ; SILVA NETO, S.P. da; PACHECO, R.M. Estratificação ambiental e otimização de rede de ensaios de genótipos de soja no Cerrado. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.49, n.10, p.783-795, 2014.

BRASÍLIA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Instrução Normativa nº 1, de 2 de fevereiro de 2012. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF.

CEMTEC. **Centro de Monitoramento do tempo e do clima de MS**. Disponível em < <http://www.cemtec.ms.gov.br/boletins-meteorologicos/> > Acesso em 24-jun-2020.

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

CRUZ, C. D; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa, MG: Imprensa Universitária, 2007, 480 p.

CRUZ, C.D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum**. v.35, n.3, p.271-276, 2013.

FELIPE, C. R. de P.; DUARTE, J.B.; CAMARANO, L. F. Estratificação ambiental para avaliação e recomendação de variedades de milho no Estado de Goiás. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.40, n.2, p.186-199, 2010.

GAUCH, H. G. **Statistical analysis of regional yield trials**: AMMI Analysis of Factorial Designs. New York: Elsevier Science Publishers B.V., 1992. 278 p.

GAUCH, H. G.; ZOBEL, R. W. Identifying mega-environment and targeting genotypes. **Crop Science**, Madison, v. 37, n. 2, p. 311-326, 1997.

HONGYU, K.; SILVA, F. de L.; OLIVEIRA, A. C. S. de; SARTI, D. A.; ARAÚJO, L. B. de; DIAS, C. T. dos S. Comparação entre os modelos AMMI e GGE biplot para os dados de ensaios multi-ambientais. **Revista Brasileira de Biometria**, São Paulo, v.33, n.2, p.139-155, 2015.

LIN, C. S. Grouping genotypes by a cluster method directly related to genotype-environment interaction mean-square. **Theoretical and Applied**, New York, v. 62, p.277-280, 1982.

MENDONÇA, O.; CARPENTIERI- PÍPOLO, V.; GARBUGLIO, D. D.; FONSECA JUNIOR, N. da S. Análise de fatores e estratificação ambiental na avaliação da adaptabilidade e estabilidade em soja. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.42, n.11, p.1567-1575, 2007.

MUNDSTOCK, C. M.; THOMAS, A. L. **Soja: Fatores que afetam o crescimento e o rendimento de grãos**. Ed. Evangraf, 2005. Porto Alegre, RS. 31p.

PELUZIO, J. M.; GEROMINNI, G. de D.; SILVA, J. P. A. da; AFFÉRI, F. S.; VENDRUSCOLO, J. B. G. Estratificação e dissimilaridade ambiental para avaliação de cultivares de soja no estado de Tocantins. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 3, p. 332-337, 2012.

PITOL, C.; ERBES, E. J.; ROMEIRO, T. da S.; SAGGIN, A.; FREITAS, J.; SCHINAEDER, J. A. B. Resultados de Experimentação e Campos Demonstrativos de Soja - Safra 2015/2016. In: MELLOTO, A. M.; LOURENÇÃO, A.L.F.; PITOL, C. GITTI, D de C.; GRIGOLLI, J. F. J. **Tecnologia e Produção Soja Safra 2015/2016**. Curitiba: Midiograf, 2016, p.40-106.

R. **The R Project for Statistical Computing**. Disponível em <<https://www.r-project.org/>> Acesso: 05 de novembro de 2018.

SILVA, C. L. da; BORNHOFEN, E. ; TODESCHINI, M. H.; MILIOLI, A. S. TREVIZAN, D. M.; BENIN, G. Seleção de genótipos de trigo para rendimento de grãos e qualidade de panificação em ensaios multiambientais. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 62, n.4, p. 360-371, jul-ago, 2015.

SILVA, R. R.; BENIN, G. Análises Biplot: conceitos, interpretações e aplicações. **Ciência Rural**, v.42, n.8, p. 1404-1412, 2012.

THOMAS, A. L.; COSTA, J. A.; PIRES, J.L.F. Estabelecimento da lavoura de soja. In: THOMAS, A.L.; COSTA, J.A. (Org.). **Soja: manejo para alta produtividade de grãos**. Porto Alegre: Evangraf, 2010. p. 127-140.

XU, N.-Y.; FOK, M.; ZHANG, G.-W.; LI, J.; ZHOU, Z.-G. The application of GGE biplot analysis for evaluating test locations and mega-environment investigation of cotton regional trials. **Journal of Integrative Agriculture**, v.13, n.9, p.1921-1933, 2014.

YAN, W.; HUNT, L. A.; SHENG, Q.; SZLAVNICS, Z. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE Biplot. **Crop Science**, v.40, n.3, p.597-605, 2000.

**ARTIGO 2: Métodos de adaptabilidade e estabilidade para recomendação de cultivares de soja**

## RESUMO

Atualmente existem diversos métodos de análise de adaptabilidade e estabilidade, que se distinguem com base nos conceitos de estabilidade adotados e princípios estatísticos empregados. O objetivo deste trabalho foi comparar os métodos de adaptabilidade e estabilidade de Eberhart e Russell (1966), Cruz *et al.* (1989) e Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998), e selecionar as cultivares de soja que possuam alta adaptabilidade, estabilidade e produtividade de grãos. Foram realizados 10 ensaios de competição com quinze cultivares de soja nas safras 2016/2017 e 2017/2018, no estado de Mato Grosso do Sul, Brasil. Para o método de Eberhart e Russel (1966), as cultivares ideais são BRASMAX POTÊNCIA RR, SYN 1562 IPRO e BRS 413 RR. Para o método de Cruz *et al.* (1989), a cultivar M6410 IPRO é a que mais se aproxima do genótipo ideal, e para o método de Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998), as cultivares BRASMAX ÍCONE IPRO e M5947 IPRO são as que apresentam maior produtividade, alta estabilidade e adaptabilidade. O método de Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998), destaca-se para recomendação de cultivares de soja, pois reúne produtividade, estabilidade e adaptabilidade para classificação dos genótipos, sendo um método de fácil interpretação.

**Palavras-chave:** Previsibilidade, posicionamento, produtividade.

**ABSTRACT**

Currently there are several methods of analysis of adaptability and stability, which are distinguished based on the concepts of stability adopted and statistical principles employed. The aim of this work was to compare the adaptability and stability methods of Eberhart and Russell (1966), Cruz et al. (1989) and Lin and Binns (1988) modified by Carneiro (1998), and to select soybean cultivars that have high adaptability, stability and grain yield. 10 competition trials were carried out with fifteen soybean cultivars in the 2016/2017 and 2017/2018 harvests, in the state of Mato Grosso do Sul, Brazil. For the method of Eberhart and Russel (1966), the ideal cultivars are BRASMAX POTÊNCIA RR, SYN 1562 IPRO and BRS 413 RR. For the method of Cruz et al. (1989), the cultivar M6410 IPRO is the one that comes closest to the ideal genotype, and for the method of Lin and Binns (1988) modified by Carneiro (1998), the cultivars BRASMAX ÍCONE IPRO and M5947 IPRO are the ones that present higher productivity, high stability and adaptability. The method of Lin and Binns (1988) modified by Carneiro (1998), stands out for the recommendation of soybean cultivars, as it combines productivity, stability and adaptability for the classification of genotypes, being a method of easy interpretation.

**Keywords:** Predictability, positioning, productivity.

## INTRODUÇÃO

O complexo de soja brasileiro é extremamente importante para a economia do país, que hoje se encontra como o segundo maior produtor de soja do mundo. O Mato Grosso do Sul, é um dos principais estados produtores do grão no país, e esse crescente cultivo da oleaginosa no estado se deve ao fato do aumento da expansão da área produtiva, que cresceu aproximadamente 247% desde 1977, e aos ganhos de produtividade das lavouras sul-mato-grossenses (APROSOJA, 2016).

O desempenho da cultura da soja depende das condições de umidade, temperatura e fotoperíodo em que a mesma está submetida (BEZERRA, 2019). A escolha da cultivar mais adaptada às condições do ambiente, é fundamental para se alcançar incrementos nos rendimentos e redução dos riscos de insucesso.

O correto posicionamento de cultivares de soja é imprescindível para garantir a sua consolidação no mercado. Dentre os diversos fatores que influenciam nesse posicionamento, estão os fatores genéticos (DECININO, 2016). Estudos voltados para a interação genótipos  $\times$  ambientes, não fornecem informações pormenorizadas sobre o comportamento de cada genótipo diante das variações ambientais. Para identificar as cultivares previsíveis e responsivas às variações ambientais, em condições específicas ou amplas, faz-se necessário realizar as análises de adaptabilidade e estabilidade (CRUZ *et al.*, 2012).

O posicionamento de cultivares com elevada produtividade de grãos, boa estabilidade e previsibilidade depende da realização de vários ensaios experimentais nos locais de cultivo, pois existem genótipos mais adaptados a determinadas regiões, influenciando assim na rentabilidade da cultura (SEDYAMA, 2009).

Atualmente existem diversos métodos de análise de adaptabilidade e estabilidade, que se distinguem com base nos conceitos de estabilidade adotados e de certos princípios estatísticos empregados (CRUZ *et al.*, 2012). Dentre os métodos, tem-se o de Eberhart e Russell (1966) que se baseia na regressão linear simples, o de Cruz *et al.* (1989) que considera a análise de regressão bissegmentada, e o de Lin e Bins (1988) modificado por Carneiro (1998), que considera o parâmetro  $P_i$ , decomposto em ambientes favoráveis e desfavoráveis.

O objetivo deste trabalho foi comparar os métodos de adaptabilidade e estabilidade de Eberhart e Russell (1966), Cruz *et al.* (1989) e Lin e Binns (1988)

modificado por Carneiro (1998), e selecionar as cultivares de soja que possuam alta adaptabilidade, estabilidade e produtividade de grãos.

## MATERIAL E MÉTODOS

Foram realizados 10 ensaios de competição de cultivares de soja nas safras 2016/2017 e 2017/2018, no estado de Mato Grosso do Sul. Os ambientes foram constituídos pelas combinações entre municípios e safras (Tabela 1).

Tabela 1. Locais, abreviações, e características climáticas dos ambientes avaliados

Local	Sigla	Safra	Data de Semeadura	Altitude (m)	REC <sup>1</sup>	Latitude (S)	Longitude (W)	Temperatura média anual
Antônio João	ANTJ1	2016-2017	07/10/2016	590	204	22° 11'	55° 47'	21,4°C
	ANTJ2	2017-2018	26/10/2017					
Amambaí	AMA1	2016-2017	20/10/2016	425	202	23° 00'	53° 19'	21,8°C
	AMA2	2017-2018	25/10/2017					
Bonito	BON1	2016-2017	27/10/2016	405	204	21° 05'	56° 31'	23,7°C
	BON2	2017-2018	30/10/2017					
Caarapó	CAA1	2016-2017	19/10/2016	390	202	22° 45'	54° 47'	22,5°C
	CAA2	2017-2018	17/10/2017					
Maracajú	MAR	2016-2017	09/10/2016	360	204	21° 38'	55° 06'	23,4°C
Naviraí	NAV	2016-2017	18/10/2016	370	202	22° 59'	54° 06'	22,4°C

<sup>1</sup>REC: Regiões edafoclimáticas (MAPA, 2012)

A informação da precipitação pluviométrica total de cada mês, durante a safra, nos ambientes se encontra na Figura 1.

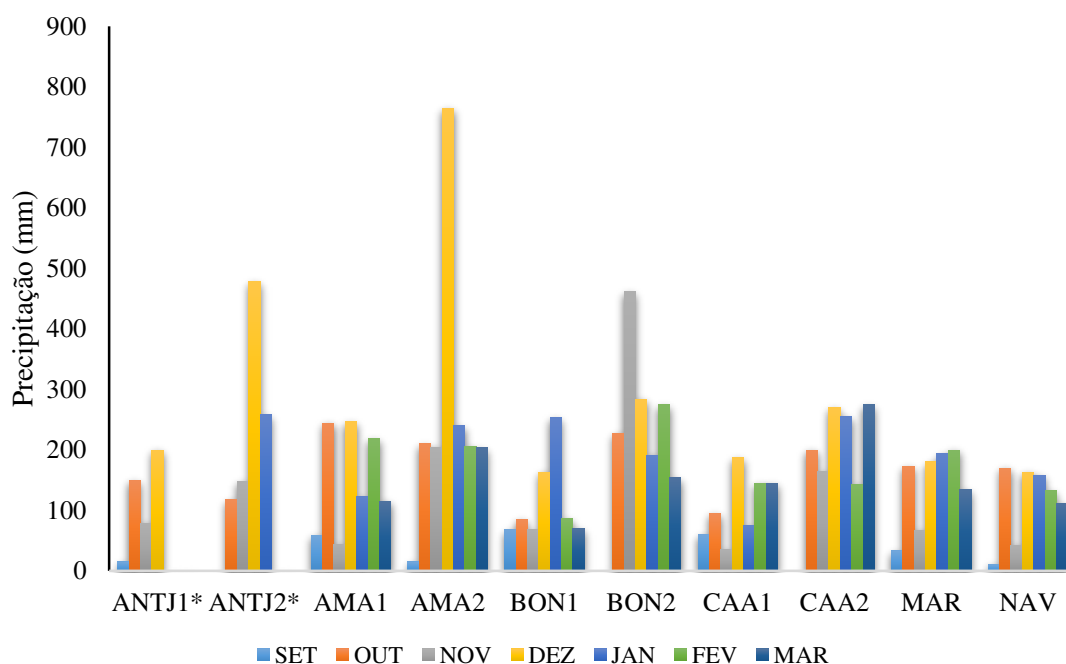


Figura 1. Precipitação pluviométrica total mensal registrada no período de condução dos ensaios nos ambientes avaliados. Obs: \*Ambientes com dados não registrados (Fonte: Fundação MS – Tecnologia e Produção: Soja Safra 2016/2017 e 2017/2018 e Cemtec).

Os tratamentos consistiram em quinze cultivares de soja, conforme a Tabela 2.

Tabela 2. Cultivares de soja, Grupo de Maturidade Relativa (GMR) e a média dos ciclos nos ambientes avaliados no estado de Mato Grosso do Sul.

Cultivares	GMR	Ciclo (dias)
M6410 IPRO	6.4	113
BRASMAX POTÊNCIA RR	6.7	118
M5947 IPRO	5.9	113
BRASMAX GARRA IPRO	6.3	115
DM 6563RSF IPRO	6.3	113
BRASMAX ÍCONE IPRO	6.8	119
TEC 6702 IPRO	6.7	113
NS 6823 RR	6.7	114
BRS 388 RR	6.4	113
BRS 413 RR	6.2	109
BRS 1003 IPRO	6.3	113
FTR 2557 RR	5.7	107
FTR 2161 RR	6.1	110
FTR 4160 IPRO	6.0	108
SYN 1562 IPRO	6.2	110

Os ensaios foram instalados no delineamento em blocos casualizados, com 2 repetições. A unidade experimental foi composta de cinco fileiras de plantas, com 12 metros de comprimento, espaçadas a 0,5 metros entre fileiras. Para densidade de semeadura, considerou-se a recomendação para cada cultivar (BEZERRA et al, 2017; 2018)

Em cada unidade experimental foi avaliado a produtividade de grãos, por meio da colheita das três fileiras centrais (área útil), sendo corrigido para 13% de umidade e extrapolada para  $\text{kg ha}^{-1}$ .

Realizou-se a análise conjunta dos ensaios, de acordo o modelo estatístico descrito abaixo na Equação 1:

(1)

$$Y_{ijk} = \mu + G_i + B/E_{jk} + E_j + GE_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

em que:

$Y_{ijk}$  : é o valor observado na parcela que recebeu o i-ésimo genótipo, no k-ésimo bloco, e j-ésimo ambiente;

$\mu$  : é a média geral;

$G_i, E_j$  : são os efeitos do i-ésimo genótipo considerado como fixo, e do j-ésimo ambiente considerado como aleatório;

$B/E_{jk}$  : efeito do k-ésimo bloco dentro do j-ésimo ambiente;

$GE_{ik}$  : efeitos da interação do i-ésimo genótipo com o j-ésimo ambiente;

$\varepsilon_{ijk}$  : é o erro experimental na parcela que recebeu o i-ésimo genótipo, no k-ésimo bloco e j-ésimo ambiente.

Em seguida, foram estimados os índices ambientais ( $I_j$ ) para cada ambiente (FINLAY E WILKINSON, 1963), dado por (Equação 2):

(2)

$$I_j = \frac{1}{g} \sum_j Y_{ij} - \frac{1}{eg} Y_{..}$$

em que:  $Y_{ij}$  é a produtividade o i-ésimo genótipo no j-ésimo ambiente; g é o número de genótipos; e e é o número de ambientes.

Para avaliar a adaptabilidade e estabilidade pelo método de Eberhart e Russell (1966) foi adotado o modelo de regressão linear, de acordo a Equação 3:

(3)

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

em que,

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

$\beta_{0i}$  : média geral do genótipo  $i$ ;

$\beta_{1i}$  : coeficiente de regressão linear, que mede a resposta do  $i$ -ésimo genótipo à variação do ambiente;

$I_j$  : índice ambiental codificado;

$\delta_{ij}$  : desvio de regressão;

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

A metodologia Eberhart e Russell (1966) baseada na análise de regressão linear simples considera os seguintes conceitos (CRUZ *et al.*, 2012):

- Genótipos com adaptabilidade geral ou ampla:  $\beta_{1i} = 1$
- Genótipos com adaptabilidade específica a ambientes favoráveis:  $\beta_{1i} > 1$
- Genótipos com adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis:  $\beta_{1i} < 1$
- Genótipos com estabilidade ou previsibilidade alta:  $\sigma_{di}^2 = 0$
- Genótipos com estabilidade ou previsibilidade baixa:  $\sigma_{di}^2 > 0$

A significância dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade são testados de acordo a seguintes hipóteses:

$H_0 : \beta_{1i} = 1$  versus  $H_a : \beta_{1i} \neq 1$ , foram testadas pelo teste  $t$

$H_0 : \sigma_{di}^2 = 0$  versus  $H_a : \sigma_{di}^2 \neq 0$ , foram testadas pelo teste  $F$

Para  $H_a : \beta_{1i} \neq 1$ , observou-se a magnitude a fim de determinar a adaptabilidade específica.

O coeficiente de determinação  $R_i^2$  foi estimado para auxiliar na comparação entre os genótipos, principalmente na seleção de genótipos com baixa estabilidade ( $\sigma_{di}^2 \neq 0$ ).

O modelo adotado no método de Cruz *et al.* (1989) foi dado conforme a Equação 4:

(4)

$$Y_{ij} = \beta_{0i} + \beta_{1i}I_j + \beta_{2i}T(I_j) + \delta_{ij} + \bar{\epsilon}_{ij}$$

em que:

$I_j$ : índice de ambiente codificado

$T(I_j) = 0$  se  $I_j < 0$ ;

$T(I_j) = I_j - \bar{I}_+$  se  $I_j > 0$ , sendo  $\bar{I}_+$  a média dos índices  $I_j$  positivos.

Essa metodologia baseia-se na análise de regressão bissegmentada, e considera o os seguintes parâmetros:

$\beta_{0i}$  = média do genótipo

$\beta_{1i} < 1$  = Pouco responsivo a ambientes desfavoráveis

$\beta_1 + \beta_2 > 1$  = Responsivo à melhoria do ambiente

A significância dos parâmetros são testados de acordo a seguintes hipóteses:

-  $H_0 : \beta_{1i} = 1$  versus  $H_a : \beta_{1i} \neq 1$ , foram testadas pelo teste t

-  $H_0 : \beta_{1i} + \beta_{2i} = 1$  versus  $H_a : \beta_{1i} + \beta_{2i} \neq 1$ , foram testadas pelo teste t

Para  $H_a : \beta_{1i} \neq 1$ , observou-se a magnitude.

A estabilidade dos genótipos foi avaliado pelos desvios da regressão  $\sigma_{\delta_i}^2$ , e o coeficiente de determinação  $R_i^2$  também foi estimado para auxiliar quanto a estabilidade dos genótipos

A adaptabilidade e estabilidade avaliada pelo método de Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998), estimou-se a performance genotípica ( $P_i$ ), definido como o quadrado médio da distância entre a média da cultivar e a resposta média máxima para todos os ambientes, de acordo a Equação 5:

(5)

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

em que:  $P_i$  é a estimativa do parâmetro de estabilidade da cultivar  $i$ ;  $Y_{ij}$  é a produtividade da  $i$ -ésima cultivar no  $j$ -ésimo ambiente;  $M_j$  é a resposta máxima observada entre todas as cultivares no ambiente  $j$ ;  $e$  é o número de ambientes.

Carneiro (1998) decompôs o estimador  $P_i$ , em ambientes favoráveis ( $P_{if}$ ) e desfavoráveis ( $P_{id}$ ). A classificação dos ambientes em favoráveis e desfavoráveis, foi feita com base nos índices ambientais, definidos como a diferença entre a média das cultivares avaliadas em cada ambiente e a média geral dos experimentos.

Para os ambientes favoráveis ( $P_{if}$ ) e desfavoráveis ( $P_{id}$ ), os parâmetros de adaptabilidade e estabilidade foram estimados conforme as seguintes Equações 6 e 7, respectivamente:

(6)

$$Pif = \frac{\sum_{j=1}^f (Y_{ij} - M_j)^2}{2f}$$

(7)

$$Pid = \frac{\sum_{j=1}^d (Y_{ij} - M_j)^2}{2d}$$

em que:  $f$  é o número de ambientes favoráveis, sendo estes considerados como índices ambientais maiores ou iguais a zero;  $d$  é o número de ambientes desfavoráveis, os quais tiveram índices ambientais negativos;  $Y_{ij}$  é a produtividade da  $i$ -ésima cultivar no  $j$ -ésimo ambiente;  $M_j$  é a resposta máxima observada entre todas as cultivares no ambiente  $j$ .

Todas as análises foram realizadas com o auxílio do software Genes (CRUZ, 2013).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância conjunta (Tabela 3) mostrou que houve efeito significativo ( $p < 0,01$ ) dos ambientes e para a interação genótipos  $\times$  ambientes.

Tabela 3. Análise de variância conjunta (resumida) para produtividade de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de 15 cultivares de soja em 10 locais no Mato Grosso do Sul nas safras de 2016/2017 e 2017/2018

Fontes de variação	GL	Quadrado médio
Blocos/Ambientes	10	682282,84
Genótipos (G)	14	509264,62 <sup>ns</sup>
Ambientes (E)	9	698770,87 <sup>**</sup>
G $\times$ E	126	309456,8 <sup>**</sup>
Resíduo	140	96126,77
Média	4010,40	
Coefficiente de variação (%)	7,73	

\*\* : significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; GL: graus de liberdade;

Essa alta significância indica que os ambientes são distintos, e que há um comportamento distinto na resposta dos genótipos nos diferentes ambientes avaliados. A média geral, nos 10 ambientes, foi de  $4010,40 \text{ kg ha}^{-1}$ , superando a produtividade nacional

na safra 2019/20 (3373 kg ha<sup>-1</sup>) (CONAB, 2020). O coeficiente de variação foi 7,73%, o que indica uma alta precisão nos dados experimentais. Matei *et al.* (2017), obtiveram valores de coeficiente de variação residual (CVe%) similares, variando a 4,95% a 9,19%, em ensaios de produtividade com cultivares de soja realizados em oito locais no estado do Paraná e São Paulo.

Outros autores também observaram efeito significativo para a interação G×E trabalhando com a cultura da soja no Mato Grosso do Sul (GALVÃO *et al.*, 1998; MORAIS *et al.*, 2008).

As estimativas dos índices ambientais (Ij) são importantes para indicar os ambientes favoráveis e desfavoráveis (Tabela 4). Um ambiente é considerado favorável quando a produtividade média dos genótipos no ambiente é maior do que a média geral de todos os ensaios. Dessa forma, esses ambientes assumem índices positivos, e são classificados como ambientes favoráveis, tal como ANTJ1, AMA1, MAR, ANTJ2, BON2 e CAA2. Já os ambientes BON1, CAA1, NAV e AMA2 apresentam índices negativos, ou seja, o desempenho médio dos genótipos nesses ambientes foi menor do que a média geral, sendo, portanto, ambientes desfavoráveis.

Tabela 4. Índices ambientais (Ij) obtidos utilizando o método de Cruz *et al.* (1989).

Ambientes	Média	Índice (Ij)	Tipo
ANTJ1	4121,54	111,13	F
AMA1	4277,26	266,86	F
BON1	3855,86	-154,54	D
CAA1	3401,51	-608,89	D
MAR	4440,61	430,20	F
NAV	3070,48	-939,92	D
ANTJ2	4600,91	590,50	F
AMA2	3869,79	-140,61	D
BON2	4435,5	425,10	F
CAA2	4030,56	20,16	F

Os ambientes AMA 1 (safra 16/17) e AMA 2 (safra 17/18), apesar de serem o mesmo local, em anos diferentes, possuiu duas classificações distintas, sendo o primeiro favorável, e o posterior desfavorável. Isso pode ter ocorrido devido a concentração de um alto volume de chuvas ocorrido no mês de dezembro durante a safra 2017/2018, totalizando 765 mm somente neste mês. Segundo Farias *et al.* (2007) o excesso de chuvas e dias nublados podem prejudicar a fotossíntese, o arejamento do solo, o desenvolvimento

de raízes e a fixação de nitrogênio, causar anomalias no desenvolvimento da soja, reduzindo o rendimento de grãos.

Os ambientes BON 1 e CAA 1 (safra 16/17) foram considerados desfavoráveis, contrapondo a BON 2 e CAA 2 (safra 17/18) classificados como favoráveis. Observou-se uma desregularidade na distribuição de chuvas ao longo do período, sendo que BON 1 teve uma estiagem em novembro, e CAA 1 teve uma estiagem em novembro, dezembro e duas em janeiro. Esses mesmos ambientes na safra 17/18, tiveram uma boa regularidade de precipitação, não registrando nenhum período de estiagem e com médias pluviométricas superiores aos da safra 16/17 para os dois locais.

Segundo Farias *et al.* (2007), a distribuição desuniforme da precipitação pluviométrica é limitante à obtenção de altos rendimentos, principalmente durante as fases de floração e enchimento de grãos. De acordo Flumignan *et al.* (2015), o clima da região sul do estado de Mato Grosso do Sul é bastante irregular, sobretudo em relação à distribuição de chuvas durante as safras.

A Tabela 5 mostra os resultados de produtividade de grãos, e as estimativas de adaptabilidade e estabilidade utilizando o método de Eberhart e Russel (1966). As cultivares BRASMAX ÍCONE IPRO e M5947 IPRO obtiveram as maiores médias produtivas, apesar de não haver diferença significativa entre as médias dos genótipos ( $p > 0,05$ ). Carvalho *et al.* (2013) ao estudar a adaptabilidade e estabilidade de genótipos de soja no Tocantins, também não encontrou diferença significativa entre as médias dos genótipos estudados.

Tabela 5. Produtividade de grãos (kg ha<sup>-1</sup>) de 15 genótipos de soja e estimativas de parâmetros de adaptabilidade e estabilidade pelo método de Eberhart e Russel (1966) -  $\hat{\beta}_1$  e  $\hat{\sigma}_{di}^2$ , avaliados em 10 ambientes no Mato Grosso do Sul nas safras de 2016/2017 e 2017/2018

Cultivares	$\hat{\beta}_{0i}$	$\hat{\beta}_{1i}$	$\hat{\sigma}_{di}^2$	R <sup>2</sup> (%)
M6410 IPRO	4089,48	0,83ns	240486,79"	38,53
BRASMAX POTÊNCIA RR	4081,91	1,28ns	2172,30ns	89,51
M5947 IPRO	4240,34	0,86ns	128958,67"	52,47
BRASMAX GARRA IPRO	4080,41	1,97**	375084,24"	70,69
DM 6563RSF IPRO	3927,96	0,98ns	46194,06ns	72,77
BRASMAX ÍCONE IPRO	4354,18	1,44**	5895,32ns	92,79
TEC 6702 IPRO	4091,13	0,59**	156296,18"	30,81
NS 6823 RR	3930,72	0,78ns	25045,22ns	68,77
BRS 388 RR	3879,47	0,63*	20531,00ns	60,10
BRS 413 RR	4053,47	1,02ns	8732,57ns	82,73
BRS 1003 IPRO	3895,05	0,65*	23712,32ns	60,99
FTR 2557 RR	3831,22	1,14ns	91337,90"	70,90
FTR 2161 RR	3857,53	0,87ns	83434,06"	60,39
FTR 4160 IPRO	3770,01	0,73ns	2080,99ns	75,22
SYN 1562 IPRO	4073,15	1,21ns	25740,37ns	83,99
Média	4010,40			

ns : não significativo

\*\* e \* :significativamente diferente de 1, pelo teste t, a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente.

" : significativamente diferente de 0, pelo teste F, a 1% de probabilidade.

Segundo Eberhart e Russel (1966), o genótipo ideal é aquele que apresenta alta produtividade média, adaptabilidade ampla (coeficiente de regressão  $\beta_1$  igual a 1,0) e previsibilidade alta (desvios da regressão  $\sigma_{di}^2$  igual a 0). Genótipos que apresentam o coeficiente de regressão maior que a unidade são adaptados a ambientes favoráveis, e menor que a unidade, adaptados a ambientes desfavoráveis.

As cultivares recomendáveis seriam a BRASMAX POTÊNCIA RR, SYN 1562 IPRO e BRS 413 RR, pois apresentaram rendimentos acima da média, adaptabilidade ampla ( $\beta_1 = 1$ ) e previsibilidade alta ( $\sigma_{di}^2 = 0$ ).

As cultivares BRASMAX ÍCONE IPRO e BRASMAX GARRA IPRO se mostraram mais adaptadas a ambientes favoráveis ( $\beta_1 > 1$ ), no entanto, somente a BRASMAX ÍCONE IPRO apresentou uma alta previsibilidade de comportamento ( $\sigma_{di}^2 = 0$ ).

A cultivar M6410 IPRO, a mais plantada no estado, presente em 26% das propriedades que cultivam a soja no estado de Mato Grosso do Sul, no Brasil

(FAMASUL, 2019), apesar de apresentar uma alta média produtiva e uma adaptabilidade ampla, mostrou-se baixa estabilidade. O mesmo ocorreu para a cultivar M5947 IPRO.

As cultivares BRS 388 RR, BRS 1003 IPRO e TEC 6702 IPRO, mostraram-se mais adaptadas a ambientes desfavoráveis ( $\beta_1 < 1$ ). A cultivares BRS 388 RR e TEC 6702 IPRO possui tolerância ao déficit hídrico do solo e moderada tolerância à acidez do solo (PITOL, 2015). Somente as cultivares BRS 388 RR e BRS 1003 IPRO mostraram-se estáveis ( $\sigma_{\delta_i}^2 = 0$ ).

O método de Eberhart e Russel (1966) avalia um único coeficiente de regressão, o qual é estimado em uma única análise, considerando todos os ambientes testados, havendo a possibilidade do genótipo ideal ser descartado, devido aos desvios serem relativamente altos em relação à reta estimada (CRUZ *et al.*, 2012). O método de Cruz *et al.* (1989), contorna esse empecilho, em que através do ajuste de uma única equação de regressão, representada por uma reta bissegmentada, obtém-se a resposta linear dos genótipos em ambientes favoráveis e desfavoráveis. Os modelos matemáticos utilizados nas duas metodologias são semelhantes, sendo que a principal diferença é que no modelo de Cruz *et al.* (1989) foi introduzido o coeficiente de regressão nos ambientes desfavoráveis, formando dois segmentos de reta.

Na Tabela 6 são apresentados os parâmetros de estabilidade e adaptabilidade de acordo a metodologia proposta por Cruz *et al.* (1989), sendo desejáveis genótipos com média alta, pouco responsivo a ambientes desfavoráveis ( $\beta_1 < 1$ ) e responsivo à melhoria do ambiente ( $\beta_1 + \beta_2 > 1$ ), e variância dos desvios da regressão ( $\sigma_{\delta_i}^2$ ) igual a zero.

A cultivar M6410 IPRO foi a que mais se aproximou de um genótipo ideal, com alta capacidade produtiva, responsivo à melhoria do ambiente ( $\beta_1 + \beta_2 > 1$ ) e com bom comportamento em ambientes adversos ( $\beta_1 < 1$ ). No entanto, possui uma baixa previsibilidade ( $\sigma_{\delta_i}^2 \neq 0$ ), o que foi indicado também pelo método de Eberhart e Russel (1966).

Tabela 6. Parâmetros de estabilidade e adaptabilidade, estimados segundo a metodologia de Cruz *et al.* (1989) para 15 genótipos de soja avaliados em 10 ambientes no estado de Mato Grosso do Sul, nas safras nas safras de 2016/2017 e 2017/2018.

Cultivares	Média dos ambientes			$\hat{\beta}_1$	$\hat{\sigma}_{\delta_i}^2$	$\hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_2$	R <sup>2</sup> (%)
	Geral	Desfavorável	Favorável				
M6410 IPRO	4089,48	3721,08	4335,09	0,67*	531247,33 <sup>++</sup>	2,14*	50,49
BRASMAX POTÊNCIA RR	4081,91	3483,31	4480,97	1,32*	107323,06ns	0,96ns	90,19
M5947 IPRO	4240,34	3789,25	4541,07	0,84ns	401180,35 <sup>++</sup>	1,08ns	52,87
BRASMAX GARRA IPRO	4080,41	3180,27	4680,51	1,79**	809666,24 <sup>++</sup>	3,43**	75,46
DM 6563RSF IPRO	3927,96	3488,39	4221,01	1,01ns	210976,53 <sup>+</sup>	0,74ns	73,34
BRASMAX ÍCONE IPRO	4354,18	3651,85	4822,39	1,42**	94813,74ns	1,58ns	92,91
TEC 6702 IPRO	4091,13	3692,01	4357,22	0,73ns	372623,93 <sup>++</sup>	-0,54**	44,81
NS 6823 RR	3930,72	3538,58	4192,14	0,85ns	145320,11ns	0,24ns	72,84
BRS 388 RR	3879,47	3624,72	4049,31	0,70ns	129826,63ns	0,03*	66,96
BRS 413 RR	4053,47	3649,75	4322,62	0,95ns	109015,72ns	1,55ns	85,50
BRS 1003 IPRO	3895,05	3661,75	4050,59	0,63*	161397,86ns	0,84ns	61,62
FTR 2557 RR	3831,22	3390,04	4125,35	1,23ns	278368,90 <sup>++</sup>	0,40ns	74,58
FTR 2161 RR	3857,53	3481,42	4108,27	0,87ns	300482,58 <sup>++</sup>	0,91ns	60,40
FTR 4160 IPRO	3770,01	3397,98	4018,03	0,76ns	101123,92ns	0,50ns	76,16
SYN 1562 IPRO	4073,15	3490,78	4461,40	1,23ns	168213,22ns	1,14ns	84,04

ns: não significativo

\*\* e \* :significativamente diferente de 1, pelo teste t, a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente.

<sup>++</sup> e <sup>+</sup> : significativamente diferente de 0, pelo teste F, a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente.

Para os ambientes favoráveis, a cultivar BRASMAX GARRA IPRO obteve ( $\hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_2 > 1$ ), assim como a M6410 IPRO. No entanto essas cultivares apresentam baixa estabilidade ( $\hat{\sigma}_{\delta_i}^2 \neq 0$ ). A cultivar BRASMAX ÍCONE IPRO obteve uma boa produtividade quando em condições foram favoráveis (4822,39 kg ha<sup>-1</sup>), sendo a mais produtiva, apesar de ter obtido uma adaptabilidade ampla ( $\hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_2 = 1$ ). No entanto, esta cultivar foi muito sensível a condições desfavoráveis, com uma redução de produtividade de aproximadamente 24%, o que é confirmado pelo ( $\hat{\beta}_1 > 1$ ), perdendo somente para a cultivar BRASMAX GARRA IPRO, onde observou-se uma redução de 32% na performance produtiva quando em ambientes desfavoráveis. Ressalta-se que, entre as cultivares, BRASMAX ÍCONE IPRO apresentou maior previsibilidade de comportamento, com um R<sup>2</sup> = 92,91 %, observado também no método de Eberhart e Russel (1966).

Para os ambientes considerados desfavoráveis destaca-se, e a cultivar BRS 1003 IPRO, que obteve ( $\hat{\beta}_1 < 1$ ), e alta estabilidade ( $\hat{\sigma}_{\delta_i}^2 = 0$ ). Esses resultados também

corroboram com os observados no método de Eberhart e Russel (1966). A cultivar M5947 IPRO, apresentou o maior rendimento nesse ambiente, apesar de ter ( $\beta_1 = 1$ ) e ( $\beta_1 + \beta_2 = 1$ ).

Observou-se que 53% das cultivares possui uma resposta similar nos ambientes favoráveis e desfavoráveis ( $\beta_{1i} = 1$ ) e ( $\beta_{1i} + \beta_{2i} = 1$ ). Vicente *et al.* (2004), ao avaliar a adaptabilidade e estabilidade pelo método de Cruz *et al.* (1989), obteve 80% das linhagens elite de soja com adaptabilidade ampla. Prado *et al.* (2001) também obteve resultados não significativos para os parâmetros,  $\beta_{1i} = 1$  e  $\beta_{1i} + \beta_{2i} = 1$ , para todas as cultivares de soja. Esses autores sugerem que a interpretação dos dados propiciada utilizando o modelo de regressão linear simples de Eberhart e Russel (1966) para os respectivos dados seria suficiente.

O método para estimar a adaptabilidade e estabilidade proposto por Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998), considera o genótipo ideal aquele com média alta e menor valor de  $Pi$  comparado aos demais genótipos (Tabela 7).

Tabela 7. Estimativa da adaptabilidade e estabilidade ( $Pi$ ) pelo método de Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998) para produtividade de grãos de soja de 15 cultivares de soja para o conjunto total de ambientes, ambientes favoráveis e desfavoráveis.

Cultivares	Média (kg ha <sup>-1</sup> )	$Pi$ geral	$Pi$ favorável	$Pi$ desfavorável
		X100.000		
M6410 IPRO	4089,48	2,56	3,59	1,01
BRASMAX POTÊNCIA RR	4081,91	2,47	2,22	2,85
M5947 IPRO	4240,34	1,69	2,32	0,75
BRASMAX GARRA IPRO	4080,41	3,33	1,75	5,70
DM 6563RSF IPRO	3927,96	4,66	5,60	3,26
BRASMAX ÍCONE IPRO	4354,18	0,97	0,56	1,60
TEC 6702 IPRO	4091,13	4,28	6,22	1,36
NS 6823 RR	3930,72	4,72	6,16	2,56
BRS 388 RR	3879,47	4,77	6,48	2,22
BRS 413 RR	4053,47	2,87	3,54	1,88
BRS 1003 IPRO	3895,05	4,75	6,56	2,05
FTR 2557 RR	3831,22	5,44	6,49	3,86
FTR 2161 RR	3857,53	4,80	6,62	2,08
FTR 4160 IPRO	3770,01	5,23	6,65	3,10
SYN 1562 IPRO	4073,15	3,00	2,45	3,82
Média	4010,4			

A estimativa do parâmetro  $Pi$  mede o desvio do caráter estudado de um genótipo em relação ao melhor genótipo em cada ambiente, sendo que, quanto menor seu valor, maior será a adaptabilidade e estabilidade de comportamento do genótipo. A modificação proposta por Carneiro (1988), permite determinar o comportamento dos genótipos em ambientes favoráveis e desfavoráveis.

De acordo com essa metodologia, as cultivares que se destacaram com maiores médias produtivas e menor estimativa de  $Pi$  geral, foram BRASMAX ÍCONE IPRO e M5947 IPRO (Tabela 7). Estas mesmas cultivares, foram as mais recomendadas para ambientes favoráveis e desfavoráveis, respectivamente. A vantagem desse método é alta correlação que existe entre produtividade, adaptabilidade e estabilidade. Esse método consegue identificar os genótipos mais estáveis entre os mais produtivos, como observado por Silva *et al.* (2013). Os mesmos autores sugerem que este método seja utilizado em conjunto com outros métodos, como o de Eberhart e Russel (1966). Silva e Duarte (2006) encontrou baixa correlação entre os Eberhart e Russel (1966) e Lin e Binns (1988), e indicou também a utilização combinadas dos dois métodos, a fim de fornecer informações adicionais e complementares sobre a estabilidade fenotípica em soja.

As metodologias de Eberhart e Russell (1966) e Cruz *et al.* (1989) são baseadas em análises de regressão, e a de Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998) trata-se de uma análise não-paramétrica.

Monteiro *et al.* (2017) ao comparar as metodologias de Eberhart e Russell (1966) e de Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998), observou que cinco genótipos apresentaram a mesma classificação nas duas metodologias e seis genótipos resultados diferentes, para produtividade de óleo nos grãos de soja.

Pereira *et al.* (2009) encontrou baixa correlação dos métodos de Eberhart e Russell (1966) e Cruz *et al.* (1989) com o método de Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998). Além de princípios estatísticos serem diferentes, os métodos de Eberhart e Russell (1966) e Cruz *et al.* (1989), não necessariamente consideram os genótipos mais estáveis e adaptados a todos ambientes, os mais produtivos. Já o método de Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998) classificou as cultivares mais produtivas, BRASMAX ÍCONE IPRO e M5947 IPRO, como genótipos ideais. Este fato também foi observado por Pereira *et al.* (2009) ao comparar os métodos de adaptabilidade e estabilidade na cultura do feijão. Estes autores também sugerem a utilização conjunta de métodos de adaptabilidade e estabilidade, sendo o método de Lin e Binns (1988) modificado por

Carneiro (1998) com outro método, como o de Eberhart e Russell (1966) ou de Cruz *et al.* (1989).

A nível de cultivo, a recomendação mais plausível, compreende a utilização de mais de uma cultivar, formando um sistema de combinação de cultivares, de modo a atender as condições de manejo e nível tecnológico, e também as condições imprevisíveis inerentes aos ambientes agrícolas. Portanto, a classificação quanto a adaptabilidade e estabilidade é imprescindível para a escolha correta das cultivares visando a diversificação, e os métodos de análises são fundamentais para esse processo.

## **CONCLUSÕES**

Para o método de Eberhart e Russel (1966), as cultivares ideais são BRASMAX POTÊNCIA RR, SYN 1562 IPRO e BRS 413 RR. Para o método de Cruz *et al.* (1989), a cultivar M6410 IPRO é a que mais se aproxima do genótipo ideal, apesar de possuir baixa previsibilidade.

O método de Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998), identificou as cultivares mais produtivas BRASMAX ÍCONE IPRO e M5947 IPRO como as que apresentam alta estabilidade e adaptabilidade.

O método de Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998), destaca-se para recomendação de cultivares de soja, pois reúne produtividade, estabilidade e adaptabilidade para classificação dos genótipos, sendo um método de fácil interpretação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APROSOJA. 2016. **Soja no Mato Grosso do Sul**. Disponível em <<http://sistemafamasul.com.br/aprosoja-ms/a-aprosoja-ms/>> Acesso em 02 out 2019.
- BEZERRA, A. R. G. Época de semeadura de cultivares de soja no Mato Grosso do Sul. In: LOURENÇÃO, A. L. F.; GRIGOLLI, J. F. J.; GITTI, D. de C.; BEZERRA, A. R. G.; MELOTTO, A. M. **Tecnologia e Produção Soja Safra 2018/2019**. Maracaju: Midiograf, 2019, p.54-62.
- BEZERRA, A. R. G.; ERBES, E. J.; ROMEIRO, T. da S.; FREITAS, J.; SAGGIN, A. Resultados de Experimentação e Campos Demonstrativos de Soja – Safra 2016/2017. In: LOURENÇÃO, A. L. F.; BEZERRA, A. R. G.; GRIGOLLI, J. F. J.; GITTI, D. de C.; MELOTTO, A. M. **Tecnologia e Produção Soja Safra 2016/2017**. Curitiba: Midiograf, 2017, p.54-133.
- BEZERRA, A. R. G.; ERBES, E. J.; ROMEIRO, T. da S.; GADENZ, L.; FREITAS, J.; LIMA, A.; SAGGIN, A. Resultados de Experimentação e Campos Demonstrativos de Soja – Safra 2017/2018. In: LOURENÇÃO, A. L. F.; GITTI, D. de C.; GRIGOLLI, J. F. J.; BEZERRA, A. R. G.; MELOTTO, A. M. **Tecnologia e Produção Soja Safra 2017/2018**. Curitiba: Midiograf, 2018, p.62-128.
- BRASÍLIA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Instrução Normativa nº 1, de 2 de fevereiro de 2012. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF.
- CARNEIRO, P.C.S. 1998. **Novas metodologias de análise de adaptabilidade e estabilidade de comportamento**. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 168 p.
- CARVALHO, E. V. de; PELUZIO, J.M.; SANTOS, W. F. dos; AFFÉRI, F. S.; DOTTO, M. A. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de soja em Tocantins. **Revista Agro@mbiente On-line**. Boa Vista, v. 7, n. 2, p. 162-169, 2013.
- CEMTEC. **Centro de Monitoramento do tempo e do clima de MS**. Disponível em <<http://www.cemtec.ms.gov.br/boletins-meteorologicos/>> Acesso em 24-jun-2020.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **GRÃOS - 6º Levantamento da Safra 2019/20 - Março/2020**. Disponível em <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>> Acesso em:04 de abril de 2020.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos Biométricos Aplicados ao Melhoramento Genético**, Viçosa: Editora UFV, 2012. 514p.
- CRUZ, C. D.; TORRES, R. A.; VENCOSKY, R. An alternative approach to the stability analysis proposed by Silva and Barreto. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v. 12, p. 567-580, 1989.
- CRUZ, C.D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum**. v.35, n.3, p.271-276, 2013.

DECICINO, T. 2016. **A importância do posicionamento de cultivares de soja para o sucesso da cultura.** Disponível em <[http://www.monsoy.com.br/site/wp-content/uploads/2016/08/job\\_02\\_97\\_informativos\\_tecnicos4\\_ano4\\_n9\\_ok\\_atualizado\\_ok.pdf](http://www.monsoy.com.br/site/wp-content/uploads/2016/08/job_02_97_informativos_tecnicos4_ano4_n9_ok_atualizado_ok.pdf)> Acesso em 02 out 2019.

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

FAMASUL. **Acompanhamento de Safra -Soja-2018/2019.** Campo Grande – MS: FAMAUL, 2019. 27 p. (FAMASUL. Circular Técnica, 302).

FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N. **Ecofisiologia da soja.** Londrina-PR: Embrapa Soja, 2007. 9 p. (Embrapa Soja. Circular Técnica, 48).

FINLAY, K.W.; WILKINSON, G. N. The analysis of adaption in a plant breeding programme. **Austr. J. Agric. Res.**, East Melbourne, v.14, p.742-754, 1963.

FLUMIGNAN, D. L.; ALMEIDA, A. C. DOS S.; GARCIA, R. A. **Necessidade de irrigação complementar da soja na região sul de Mato Grosso do Sul.** Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2015. 8 p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Circular Técnica, 34).

GALVÃO, E. R.; SEDIYAMA, T.; SEDIYAMA, C. S.; ROCHA, V. S.; SCAPIM, C. A. Adaptabilidade e estabilidade fenotípica de nove cultivares e linhagens de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) em Ponta Porã, Mato Grosso do Sul. **Ceres**, v. 45, n.259, p.221-231, 1998.

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

MATEI, G.; BENIN, G.; WOYANN, L. G.; DALLÓ, S. C.; MILIOLI, A. S.; ZDZIARSKI, A. D. Agronomic performance of modern soybean cultivars in multi-environment trials. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 52, n. 7, p. 500-511, 2017.

MONTEIRO, F.J.F.; PELUZIO, J. M.; AFFÉRI, F.S.; CARVALHO, E.V. de; SANTOS, W.F. dos. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de soja para produtividade de óleo nos grãos. **Revista Agrarian**. Dourados, v.10, n.35, p. 18-21, 2017.

MORAIS, L. K. de; MOURA, M. F.; VENCovsky, R.; PINHEIRO, J.B. Adaptabilidade e estabilidade fenotípica em soja avaliada pelo método de Toler. **Bragantia**, v.67, n.2, p.275-284, 2008.

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

PITOL, C. Soja Mais Produtiva e Tolerante a Seca. In: PITOL, C.; GITTI, D. de C.; GRIGOLLI, J. F. J.; LOURENÇÃO, A. L. F.; MELOTTO, A. M. **Tecnologia e Produção Soja Safra 2014/2015**. Curitiba: Midiograf, 2015, p.29-37.

PRADO, E. E. do; HIROMOTO, D. M.; GODINHO, V. de P. C.; UTUMI, M. M.; RAMALHO, A. R. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de soja em cinco épocas de plantio no cerrado de Rondônia. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 36, n. 4, p. 625-635, 2001.

SEDIYAMA, T. **Tecnologias de produção e usos da soja**. Londrina, Paraná: Mecenias, 2009. 314 p.

SILVA, G. A. P.; CHIORATO, A. F.; GONÇALVES, J. G. R.; PERINA, E. F.; CARBONELL, S. A. M. Análise da adaptabilidade e estabilidade de produção em ensaios regionais de feijoeiro para o Estado de São Paulo. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 60, n.1, p. 059-065, 2013.

SILVA, W.C.J e.; DUARTE, J. B. Métodos estatísticos para estudo de adaptabilidade e estabilidade fenotípica em soja. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.41, n.1, p.23-30, 2006.

VICENTE, D.; PINTO, R. J. B.; SCAPIM, C. A. Análise da adaptabilidade e estabilidade de linhagens elite de soja. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 26, n. 3, p. 301-307, 2004.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados observados neste trabalho colaboram com a explanação dos métodos estatísticos a serem utilizados nos programas de melhoramento de soja no Mato Grosso do Sul.

Ao comparar os métodos de estratificação de Lin (1982) e GGE biplot, observou-se que os resultados foram similares para os agrupamentos dos ambientes. No entanto, os agrupamentos indicados pelo método GGE biplot apresentam uma maior coincidência ao longo das safras.

Para o método de Eberhart e Russel (1966), as cultivares ideais são BRASMAX POTÊNCIA RR, SYN 1562 IPRO e BRS 413 RR. Para o método de Cruz *et al.* (1989), a cultivar M6410 IPRO é a que mais se aproxima do genótipo ideal, apesar de possuir baixa previsibilidade.

O método de Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998), identificou as cultivares mais produtivas BRASMAX ÍCONE IPRO e M5947 IPRO como as que apresentam alta estabilidade e adaptabilidade.

O método de Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998), destaca-se para recomendação de cultivares de soja, pois reúne produtividade, estabilidade e adaptabilidade para classificação dos genótipos, sendo um método de fácil interpretação.

Assim, estudos que exploram a interação genótipos  $\times$  ambientes, através da comparação métodos de estratificação, adaptabilidade e estabilidade são imprescindíveis para o avanço e tomada de decisões nas análises dos genótipos e ambientes dos programas de melhoramento.