

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MATO GROSSO CARLOS ALBERTO
REYES MALDONADO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GENÉTICA E MELHORAMENTO DE
PLANTAS**

JOAMESON ANTUNES LIMA

**Estabilidade e adaptabilidade de híbridos de milho (*Zea mays* L.) em
diferentes ambientes no Norte de Mato Grosso e Sudeste de
Rondônia**

**ALTA FLORESTA
MATO GROSSO, BRASIL
FEVEREIRO - 2020**

JOAMESON ANTUNES LIMA

**Estabilidade e adaptabilidade de híbridos de milho (*Zea mays* L.) em
diferentes ambientes no Norte de Mato Grosso e Sudeste de
Rondônia**

Dissertação apresentada à UNIVERSIDADE DO
ESTADO DE MATO GROSSO CARLOS ALBERTO
REYES MALDONADO, como parte das exigências
do Programa de Pós-Graduação em Genética e
Melhoramento, para obtenção do título de Mestre.

Orientadora: Prof^a Dra. Ana Aparecida Bandini Rossi

Coorientador: Prof^o Dr. Guilherme Ferreira Pena

ALTA FLORESTA
MATO GROSSO - BRASIL
FEVEREIRO - 2020

CIP – CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO

L732e LIMA, Joameson Antunes.

Estabilidade e Adaptabilidade de Híbridos de Milho (*Zea Mays L.*) em Diferentes Ambientes no Norte de Mato Grosso e Sudeste de Rondônia / Joameson Antunes Lima – AltaFloresta/Cáceres/Tangará da Serra, 2020.

74 f.; 30 cm. (ilustrações) Il. color. (sim).

Trabalho de Conclusão de Curso (Dissertação/Mestrado) – Curso de Pós-graduação *Stricto Sensu* (Mestrado Acadêmico) Genética e Melhoramento de Plantas, Faculdade de Ciências Biológicas e Agrárias, Multicampi, Universidade do Estado de Mato Grosso, 2020.

Orientadora: Dra. Ana Aparecida Bandini Rossi.

Coorientador: Dr. Guilherme Ferreira Pena.

1. Produtividade de Grãos. 2. Interação Gxa. 3. Interação Complexa.
I. Rossi, A. A. B, Dra. II. Pena, G. F., Dr.

CDU 633.15(811.1+817.2)|

Estabilidade e adaptabilidade de híbridos de milho (*Zea mays* L.) em diferentes ambientes no Norte de Mato Grosso e Sudeste de Rondônia

JOAMESON ANTUNES LIMA

Dissertação apresentada à UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MATO GROSSO Carlos Alberto Reyes Maldonado, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, para obtenção do título de Mestre.

Aprovado em 27 de fevereiro de 2020.

Comissão Examinadora:



Profª Ana Aparecida Bandini Rossi (D. Sc., Genética e Melhoramento)
Universidade do Estado de Mato Grosso Carlos Alberto Reyes Maldonado
(Orientadora)



Prof. Guilherme Ferreira Pena (D. Sc., Genética e Melhoramento de Plantas)
Universidade do Estado de Mato Grosso Carlos Alberto Reyes Maldonado
(Coorientador)



Flávio Dessaune Tardin (D. Sc., Produção Vegetal)
Pesquisador da Embrapa Agrossilvipastoril, Sinop, MT



Roberto dos Santos Trindade (D. Sc., Genética e Melhoramento de Plantas)
Pesquisador Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG

“O coração do homem propõe o seu caminho, mas o Senhor lhe dirige os passos.”

Provérbios 16:9

*Ao meu avô José Soares
Antunes e minha tia Silviane
Antunes (in memoriam)*

DEDICO...

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela coragem que me deu para chegar até aqui.

À Universidade do Estado de Mato Grosso e ao Programa de Pós-graduação em Genética e Melhoramento de Plantas por ter me proporcionado a oportunidade de ser mestre.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES pelo financiamento desta pesquisa – Código de financiamento 001.

À Embrapa Milho e Sorgo pelo apoio para que essa pesquisa fosse realizada.

Agradeço a minha Orientadora Professora Doutora Ana Aparecida Bandini Rossi pela disponibilidade de orientação, pelos sete anos de ensinamento e de amizade, você é exemplo de humildade e profissionalismo para mim.

Ao meu coorientador Professor Doutor Guilherme Ferreira Pena, por todo auxílio na implantação dos experimentos, avaliação e orientação na escrita da minha dissertação. Sua ajuda foi essencial para que esta pesquisa fosse realizada.

Aos Pesquisadores da Embrapa Milho e Sorgo Dr. Roberto dos Santos Trindade e Dr. Flávio Dessaune Tardin pelas contribuições.

Agradeço a toda minha família, em especial a minha mãe Sandra Antunes por todo amor. À Gleyce Kelli Ferreira por todo companheirismo.

Agradeço à equipe de estagiários: Letícia Pogalsky, Marry de Jesus, Renan Colavich, e aos bolsistas de Iniciação Científica: Angelo Gabriel, Edimilson Leonardo, Larissa Lemes, por toda ajuda desde o plantio, adubação, colheita, às avaliações.

Ao sr. Osvaldo Rossi por ter cedido a área para a implantação do experimento de Alta Floresta-MT, pela amizade e por todo auxílio.

Ao sr. Jacó por ter cedido a área para a implantação do experimento de Carlinda-MT.

Aos amigos Auana Vicente Tiago, Elisa Cardoso, Eliane Moreno, Kelli Zortéa e Mary Wolf, Vinicius Delgado, Uéliton Alves, Alex Sousa, Catiane Braga, Gessica Zanetti, Fernanda Rossi, Marquinho Zortéa, Patrícia Ana, Ana Paula Roveda, Rosiele Bispo e Celço Givanni pelas boas risadas e por toda ajuda.

Agradeço aos amigos Tiago Santos, Henthonny Reis, Natália Veraxx, Wesley Sousa, Priscila Lima, Daniel Venek e Fabricio Waith, por me apoiar na realização deste sonho. GRATIDÃO!

BIOGRAFIA

Joameson Antunes Lima, filho de João Maria de Araújo Lima e Sandra dos Santos Antunes. É Paraense, nascido na cidade de Castanhal-PA. Da infância à adolescência fora criado em Aurora do Pará onde estudou até o nono ano fundamental. Em 2009 regressou a Castanhal onde concluiu em 2011 o ensino médio integrado ao curso técnico em agropecuária no Instituto Federal do Pará. Em 2012 fez curso preparatório para ingressar na faculdade. Em 2013, mudou-se para Alta Floresta-MT e iniciou a vida acadêmica na Universidade do Estado de Mato Grosso-UNEMAT para cursar Engenharia Florestal. No mesmo ano conseguiu estágio no Laboratório de Genética Vegetal e Biologia Molecular-GENBIOMOL, onde também foi bolsista de Iniciação científica orientado pela Professora Doutora Ana Aparecida Bandini Rossi. Em 2018, formou-se Engenheiro Florestal e ingressou no Programa de Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas-PGMP/UNEMAT, orientado pela professora Doutora Ana Aparecida Bandini Rossi, obtendo o título de Mestre em Genética e Melhoramento de Plantas em fevereiro de 2020.

SUMÁRIO

RESUMO.....	ix
ABSTRACT	x
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	11
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	15
2.1 Origem, distribuição geográfica e classificação botânica do milho	15
2.2 Importância econômica	16
2.3 Melhoramento do milho no Brasil	17
2.4 Interação genótipo por ambiente	18
2.5 Estabilidade e adaptabilidade.....	19
2.6 Métodos de estabilidade e adaptabilidade.....	22
2.6.1 Método baseado em análise de variância (ANOVA).....	22
2.6.1.1 Annichiarico (1992).....	22
2.6.2 Método baseado em regressão linear.....	23
2.6.2.1 Eberhart & Russell (1966).....	23
2.6.3 Método baseado em análises não paramétricas.....	23
2.6.3.1 Lin & Binns (1988).....	23
2.6.4 Método baseado em análise multivariada.....	24
2.6.4.1 AMMI.....	24
2.6.5 Método baseado em modelos mistos.....	25
2.6.5.1 REML/Blup.....	25
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27
4 CAPÍTULOS	34
4.1 CAPÍTULO 1	34
INTERAÇÃO GENÓTIPO POR AMBIENTES EM 36 HÍBRIDOS DE MILHO (<i>Zea mays</i> L.) NO NORTE DE MATO GROSSO E SUDESTE DE RONDÔNIA.....	34
INTRODUÇÃO	34
MATERIAL E MÉTODOS	36
Área de estudo	36
Material genético	36
Preparo da área	37
Delineamento experimental.....	38
Variáveis analisadas	38

Análise estatística	38
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
CONCLUSÕES	44
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45
4 CAPÍTULOS	48
4.1 CAPÍTULO 2	48
ESTABILIDADE E ADAPTABILIDADE EM HÍBRIDOS DE MILHO NO NORTE DE MATO GROSSO E SUDESTE DE RONDÔNIA.....	48
INTRODUÇÃO	48
MATERIAL E MÉTODOS	50
Material Genético	50
Característica avaliada.....	51
Análise de estabilidade e adaptabilidade	51
Método de Annicchiarico (1992).....	51
Modelo de Eberhart & Russell (1966)	51
Método de Lin & Binns (1988).....	52
Método de AMMI	52
Método REML/Blup	53
Análises estatísticas.....	54
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	55
Metodologia de Annicchiarico (1992)	55
Metodologia de Lin & Binns (1988)	58
Metodologia de Eberhart & Russell (1966).....	60
Metodologia AMMI	63
Metodologia de modelos mistos REML/Blup	67
CONCLUSÕES	71
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72
5. CONCLUSÕES GERAIS.....	75

RESUMO

LIMA, JOAMESON ANTUNES; M.Sc; UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MATO GROSSO; fevereiro de 2020. Estabilidade e adaptabilidade de híbridos de milho (*Zea mays* L.) em diferentes ambientes no Norte de Mato Grosso e Sudeste de Rondônia. Orientadora: Ana Aparecida Bandini Rossi. Coorientador: Guilherme Ferreira Pena.

A identificação de genótipos com alto potencial de produção e com ampla estabilidade e adaptabilidade é um dos principais alvos de programas de melhoramento de milho (*Zea mays*). É por isso que, antes de serem recomendados aos agricultores, esses genótipos são avaliados em ensaios multi-ambientais. O objetivo deste trabalho foi avaliar a estabilidade e adaptabilidade de híbridos de milho em seis ambientes na região Norte de Mato Grosso e Sudeste de Rondônia. Para tal, foram avaliados 36 híbridos simples de milho em seis ambientes, sendo eles: Vilhena-RO, Sorriso-MT, Alta Floresta-MT, Carlinda-MT e Sinop-MT, uma vez que este último fora avaliado em dois anos de produção (Safrá e Safrinha 2017/2018), totalizando assim, seis ambientes. Os experimentos foram delineados em blocos casualizados (6x6) e em 2 (duas) repetições. Cada parcela experimental foi composta de duas fileiras de quatro metros de comprimento, espaçadas em 0,7 m, perfazendo um total de 144 unidades experimentais (36x2x2). A produtividade de grãos foi obtida pela pesagem dos grãos debulhados de cada parcela, posteriormente, os dados foram submetidos a correção de stand, a partir da análise de covariância com correção para stand ideal, corrigidas para 13% de umidade e convertida para kg ha⁻¹. A estabilidade e a adaptabilidade foram avaliadas por meio dos métodos de Annicchiarico (1992), Lin & Binns (1988), Eberhart & Russel (1966) e AMMI por meio do programa Genes, e para o método REML/Blup utilizou-se o software Selegen. Houve diferença significativa ($p < 0,01$) para os efeitos de ambientes e interação GXA. A decomposição em partes simples e complexa revelou neste estudo predominância de interação do tipo complexa. Os ambientes de Vilhena-RO, Sorriso-MT e Alta Floresta-MT foram os mais produtivos, com médias de produtividade superior a 10 ton ha⁻¹. A metodologia de Annicchiarico e Eberhart & Russell, revelaram os ambientes de Vilhena-RO, Sorriso-MT e Alta Floresta-MT como favoráveis de cultivo. Os resultados deste estudo permitem recomendar os híbridos 1P2255, 1P2215, 1L1411 e 1P2247 como futuros candidatos a lançamento, pois tiveram ótimo desempenho produtivo e alta adaptabilidade e estabilidade para cultivo. Recomenda-se para ambientes com baixos investimentos tecnológicos os híbridos 1P2247, 1P2214, 1P2215, 1M1807, 1M1782 e 1O2034. A metodologia de modelos mistos REML/Blup permite identificar um maior número de genótipos estáveis/adaptáveis e com alta produtividade, além de ser uma medida viável para comparação de genótipos avaliados em vários ambientes.

PALAVRAS-CHAVE: Produtividade de grãos, interação GXA, interação complexa.

ABSTRACT

LIMA, JOAMESON ANTUNES; M.Sc; MATO GROSSO STATE UNIVERSITY; february 2020. Stability and adaptability of maize (*Zea mays* L.) hybrids in different environments in Northern of Mato Grosso and Southeast of Rondônia. Adviser: Ana Aparecida Bandini Rossi. Coadviser: Guilherme Ferreira Pena.

The identification of genotypes with high production potential and ample stability and adaptability is one of the main targets of maize breeding programs (*Zea mays*). That is why before being recommended to farmers these genotypes are applicable in multi-environmental tests. The objective of this work was to evaluate the stability and adaptability of maize hybrids in six environments in the North of Mato Grosso and Southeast of Rondônia. For this 36 simple maize hybrids were evaluated in six environments being Vilhena-RO, Sorriso-MT, Alta Floresta-MT, Carlinda-MT and Sinop-MT since it is the last test in two years of production (Safrinha 2017/2018) so totaling six environments. The experiments were designed in randomized blocks (6x6) and in 2 repetitions. Each experimental plot was composed of two rows of four meters long spaced 0.7 m apart making a total of 144 experimental units (36x2x2). Grain productivity was obtained by weighing threshed grains from each plot. Subsequently the data were subjected to a Stand correction based on an analysis of covariance with correction for Ideal Stand corrected for 13% humidity and converted by kg ha⁻¹. Stability and adaptability were assessed using the methods of Annicchiarico (1992) Lin & Binns (1988) Eberhart & Russel (1966) and AMMI methods using the Genes program and the REML / Blup method using the software Selegen. There was a significant difference ($p < 0.01$) for the effects of environments and GXA interaction. The decomposition into simple and complex parts revealed a predominance of complex type interactions in this study. The environments of Vilhena-RO, Sorriso-MT and Alta Floresta-MT were the most productive with reading media greater than 10 tons ha⁻¹. The Annicchiarico and Eberhart & Russell methodology revealed the environments of Vilhena-RO, Sorriso-MT and Alta Floresta-MT as favorable to cultivation. The results of this study allow to recommend hybrids 1P2255 1P2215, 1L1411 and 1P2247 as future launch candidates as they had an excellent productive performance and high adaptability and stability for cultivation. For environments with low technological investments hybrids 1P2247 1P2214 1P2215 1M1807 1M1782 and 1O2034 are recommended. The methodology of mixed models REML / Blup allows to identify a greater number of stable / adaptable genotypes with high productivity besides being a viable measure for comparing genotypes evaluated in various environments.

KEY WORDS: Grain productivity, GXA interaction, Complex interaction.

1. INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil, por apresentar grande extensão territorial, possui grande diversidade de clima e solo (Maldaner et al., 2014), além de diferentes sistemas de produção agrícola, níveis tecnológicos e de vários outros fatores que podem influenciar a produção de milho (*Zea mays* L.), o que faz com que haja um enorme contraste entre as regiões produtoras (Coelho et al., 2004; Maldaner et al., 2014; Môro & Fristsche-Neto, 2015).

O milho é cultivado em todas as regiões do Brasil, uma vez que sua produção ocorre em duas diferentes épocas de plantios (Contini et al., 2019). A primeira é denominada como Safra, realizada durante o período chuvoso, que varia entre fins de agosto, na região Sul, até os meses de outubro e novembro no Sudeste e Centro-Oeste. A segunda é denominada como Safrinha, que se refere ao milho de sequeiro, plantado entre os meses de janeiro e fevereiro, depois da colheita da soja, predominantemente na região Centro-Oeste e nos estados do Paraná e São Paulo (Miranda et al., 2012). De acordo com o levantamento realizado pela CONAB (2019), nas safras 2018/19 e 2019/19 essas duas épocas de plantio renderam cerca de 26.1 e 72.4 milhões de toneladas de grãos de milho, respectivamente.

Diante das diferenças ambientais é perceptível um contraste na produção das lavouras de milho entre os principais estados produtores na Safra 2018/2019 em mil toneladas por hectare: Mato Grosso (31.241), Paraná (15.814), Goiás (10.884), Mato Grosso do Sul (9.767), Minas Gerais (7.300), Rio Grande do Sul (5.977), São Paulo (4.507), Santa Catarina (2.781), Maranhão (1.813), Bahia (2.800) e Piauí (1.602) (CONAB, 2019). Tratando-se de área plantada de milho, o mesmo levantamento aponta os seguintes valores em mil hectares Mato Grosso (4.906), Paraná (2.606), Mato Grosso do Sul (1.876), Goiás (1.677), Minas Gerais (1.169), São Paulo (844,9), Rio Grande do Sul (753,9), Bahia (592,2), Piauí (451,6) e Maranhão (410,8).

De acordo com Garcia et al. (2006) a concentração da produção em alguns estados pode estar relacionada com a quantidade da área plantada, o que possibilita estados como Mato Grosso se destacar como maior produtor. Os autores ainda relatam que outros fatores como investimentos em tecnologia, melhoramento genético de cultivares, assim como condições edafoclimáticas favoráveis das regiões também serem variáveis determinantes na alta produção do grão.

Um programa de melhoramento genético vegetal, em fase final de recomendação de uma determinada cultivar, normalmente conduz ensaios com genótipos em diferentes ambientes e, na maioria das vezes, estes locais de avaliação são edafoclimaticamente distintos, verificando-se assim a ocorrência de interação entre genótipo e ambiente (GXA), o que afeta o ganho com a seleção e torna necessário estimar a magnitude e a natureza dessa interação (Rosado et al., 2012).

A interação GXA é definida como o comportamento diferencial dos genótipos em função da diversidade ambiental e representa uma das principais dificuldades encontradas durante a seleção e decorrente recomendação de cultivares. Tal efeito deve ser visto como um fenômeno biológico com implicações no melhoramento genético de plantas e não como um simples efeito estatístico, buscando a explicação evolutiva do evento quando quiser obter proveito de seus efeitos benéficos bem como para corrigir seus efeitos indesejáveis sobre a avaliação de genótipos e recomendação de cultivares (Chaves, 2001; Hongyu et al., 2015). Compreender as causas da interação GXA é uma etapa importante, e dispensa de recurso humano, financeiro ou outro (Hongyu et al., 2014).

Cruz & Regazzi (2014) classificam a interação como: a) ausência de interação, b) interação simples e c) interação complexa, de acordo com a resposta do ambiente. A ausência de interação ocorre quando os genótipos apresentam o mesmo nível de resposta à variação ambiental ou, mantém-se indiferente a esta variação interação. A simples indica a presença de genótipos adaptados a uma ampla faixa de ambientes; assim, a recomendação de cultivares pode ser feita de forma generalizada. E a interação complexa indica a presença de materiais adaptados a ambientes particulares; isto traz uma complicação para o melhorista, uma vez que a recomendação é restrita a ambientes específicos (Ramalho et al., 1993).

Apesar de sua importância, a simples análise da interação GXA não proporciona informações completas e exatas sobre o comportamento de cada genótipo em várias condições ambientais. Para tal recomenda-se a aplicação de análises de estabilidade e adaptabilidade por meio de métodos estatísticos, pois são os meios mais utilizados para amenizar as consequências da interação GXA (Rocha et al., 2007).

O termo adaptabilidade refere-se à capacidade de os genótipos aproveitarem vantajosamente o estímulo do ambiente e a estabilidade diz respeito à capacidade de

os genótipos mostrarem comportamento altamente previsível em razão do estímulo do ambiente (Cruz et al., 2004). Nessa perspectiva, estudos que investigam a adaptabilidade e a estabilidade fenotípica são essenciais para um melhorista, pois estes identificam os efeitos da interação GXA ao nível de genótipo e ambiente, mostrando a contribuição relativa para a interação total, assim como permite identificar entre os genótipos avaliados, aqueles com ampla estabilidade e adaptabilidade de produção e também aqueles com adaptabilidade específica a cada ambiente avaliado (Cruz et al., 2014; Faria et al., 2017; Rosa et al., 2017).

Várias técnicas estatísticas e genéticas têm sido desenvolvidas com o intuito de melhor quantificar este efeito, mas as posições críticas dos estatísticos que atuam em programas de melhoramento genético, referem-se à falta de uma análise criteriosa da estrutura da interação GXA. Tradicionalmente, a análise dessa estrutura é superficial, não detalhando os efeitos da complexidade da interação (Rosa et al., 2017).

Desta forma, diferentes metodologias têm sido propostas para a análise da estabilidade e adaptabilidade, de forma que a escolha por uma delas depende de fatores como a quantidade de genótipos e de ambientes avaliados, da precisão requerida e do tipo de informação desejada (Chaves, 2001). Entre as diversas metodologias empregadas para estudar a adaptabilidade e estabilidade destacam-se os métodos de Plaisted & Peterson (1959), Eberhart & Russel (1966), Wricke & Weber (1986), Lin & Binns (1988), Annicchiarico (1992), Huehn (1996) AMMI (*Additive Main Effects and Multiplicative Interaction Analysis*), modelos mistos-REML/Blup (Resende, 2016), entre outros.

Para o milho, as metodologias de Eberhart & Russell (1966), Annicchiarico (1992), Lin & Binns (1988) são as metodologias mais utilizadas (Rios et al., 2009; Engelsing et al., 2012; Gabriel et al., 2018), devido a sua facilidade na aplicação e interpretação dos resultados. Outros métodos recentes utilizados, destacam-se: análise AMMI (Gauch & Zobel, 1996) e REML/Blup modelo 52 do Selegen (Resende, 2016).

O método baseado na análise AMMI permite um detalhamento maior da soma de quadrados da interação GXA e traz vantagens na seleção de genótipos quando comparados a outros métodos. Além disso, esse método combina técnicas estatísticas com a análise de variância e a análise de componentes principais para

ajustar o efeito da interação GXA (Gauch & Zobel, 1996). Já o método REML/Blup proposto por Resende (2016) apresenta inúmeras vantagens em relação aos métodos mais tradicionais, tais como, considerar erros correlacionados dentro de locais, bem como a estabilidade e a adaptabilidade na seleção de genótipos superiores, fornece valores genéticos já descontados da instabilidade e pode ser aplicado a qualquer número de ambientes e a experimentos desbalanceados. A recomendação de cultivares de milho tem sido realizada com esses métodos por vários autores e tem revelado resultados satisfatórios (Barroso et al., 2015; Andrade et al., 2016; Faria et al., 2017; Santos et al., 2018).

O presente trabalho está dividido em dois capítulos, o primeiro diz respeito a análise do efeito da interação GXA de 36 híbridos simples de milho, provenientes do ensaio elite 2018/2019 da Embrapa Milho e Sorgo, em seis diferentes ambientes do Norte de Mato Grosso e um ambiente do Sudeste de Rondônia. O segundo capítulo busca investigar por meio de diferentes métodos de estabilidade e adaptabilidade a resposta dos mesmos 36 diferentes genótipos nestes seis ambientes.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Origem, distribuição geográfica e classificação botânica do milho

Existem diversas teorias quanto à origem do milho (*Zea mays* L.), porém a mais aceita é a que este cereal tenha sido originado do teosinto no México, há mais de 8000 anos. E é distribuído e cultivado em muitas partes do Mundo (Estados Unidos da América, República Popular da China, Índia, Brasil, França, Indonésia, África do Sul, etc.) (Barros & Calado, 2014). A sua grande adaptabilidade, representada por variados genótipos, permite o seu cultivo desde o Equador até o limite das terras temperadas e, desde o nível do mar até altitudes superiores a 3600 metros, encontrando-se, assim, em climas tropicais, subtropicais e temperados (Galinat, 1995; Barros & Calado, 2014).

O milho (*Z. mays*) é uma espécie pertencente a família Poaceae, caracterizado como uma planta monoica, com inflorescências masculinas e femininas presentes na mesma planta, diploide ($2n = 20$ cromossomos) e alógama (Borém, 2013). A inflorescência masculina, chamada de pendão, é do tipo panícula, constituída de um eixo central, denominado ráquis, do qual surgem várias ramificações laterais (Viana et al., 1999). De cada ramificação lateral podem surgir várias outras ramificações, denominadas terciárias. Ao longo destas ramificações estão localizadas as espiguetas, dispostas aos pares, sendo uma séssil e outra pedunculada; os pares de espiguetas são arranjadas alternadamente. As flores masculinas do milho são formadas por três estames e são necessários aproximadamente oito dias para a formação dos pólenes, sendo que cada inflorescência pode produzir aproximadamente 50 milhões de grãos de pólen (Barros & Calado, 2014; Bergamaschi & Matzenauer, 2014).

A inflorescência feminina é chamada de boneca ou espiga, a qual surge por diferenciação das gemas existentes nas axilas foliares do colmo. A espiga é uma estrutura semelhante a um ramo lateral, com internódios mais curtos, de onde se originam as bainhas foliares e, à medida que essas surgem, uma se sobrepõe em relação as outras, envolvendo fortemente as inflorescências (Barros & Calado, 2014). Além da palha, as espigas são constituídas de sabugo e flores femininas. As flores femininas, ou espiguetas, são envolvidas parcialmente pelas glumas e compreendem internamente uma flor envolvida parcialmente pela pálea e a lema. Cada espiguetas

possui duas flores, uma pedicelada e outra séssil, mas apenas a flor superior de cada espiguetta é funcional, pois a inferior geralmente encontra-se atrofiada (Lima, 2006).

A quantidade de folhas pode variar entre 5 e 48, sendo constituídas de duas partes principais: a bainha que envolve os entrenós e a lâmina ou limbo. Na linha de união da bainha e limbo, forma-se uma lâmina curta e perpendicular, denominada lígula, cuja principal função é controlar a entrada água e de impurezas, bem como reduzir a evaporação. Dos nós, situados na região mediana do colmo, desenvolvem-se as folhas que podem permanecer no estado rudimentar ou crescer para formação da inflorescência feminina, a espiga (Paterniani & Miranda Filho, 1987; Barros & Calado, 2014).

O milho pode atingir uma altura de cerca de 2 metros ou mais, podendo o seu porte sofrer variação em função do próprio híbrido cultivado, das condições edafoclimáticas, do fornecimento de água à planta, das características do solo, bem como o nível de fertilidade e, da disponibilidade de nutrientes, entre outros (Barros & Calado, 2014).

2.2 Importância econômica

A importância econômica do milho é caracterizada pelas diversas formas de sua utilização que engloba o grão desde a alimento humano e animal, a produção de óleo, etanol, etc. Além disso, o milho é um dos mais importantes constituintes na dieta humana, por ter uma participação direta ou indireta na mesa dos mais diferentes povos (Miranda, 2018). Especialmente na África, Ásia e América latina, milhões de pessoas dependem do milho como fonte de alimentação. Essas pessoas tiram do milho tanto carboidratos, quanto a proteína para sua alimentação (Rosas-Castor, 2014).

É um grão de grande importância na balança comercial de muitos países e atualmente é o grão mais produzido no mundo (CONAB, 2019). Isso acontece devido ao seu potencial produtivo, composição química e potencial nutritivo (Fancelli, 2000).

As principais estruturas do milho são endosperma, gérmen, pericarpo e ponta. O endosperma constitui 82 % do grão, o gérmen 11%, o pericarpo 5% e 2% de ponta, sendo a maior parte do grão composto pelo endosperma que apresenta como principal fonte nutritiva o amido, o que equivale de 86 a 89% de carboidratos (Paes, 2006; Kaul et al., 2019).

Em relação a importância econômica e social, o milho, além de ser fonte geradora de empregos no setor primário, é matéria-prima indispensável para impulsionar diversos complexos agroindustriais (Fancelli & Dourado Neto, 2000). De acordo com Baraviera et al., (2014) é um cereal que além de ser utilizado no consumo humano e animal, também é utilizado na fabricação de biocombustível, que impulsionado pelo avanço da tecnologia, associado a busca de novas fontes renováveis de matéria prima, tornou-se uma alternativa viável no Brasil (Sperotto, 2017). No Mato Grosso estima-se que a produção total de etanol, contemplando os tipos anidro e hidratado, cresceu 37% entre as safras 2014/15 e 2017/18, rendeu um incremento de 461,6 mil m³ no período (CONAB, 2018). Não se tem atualmente estimativas da capacidade de produção total de etanol de milho no Brasil, porém sabe-se que além do estado de Mato Grosso, outros estados da região Centro-Oeste já produzem e/ou investem nas chamadas usinas “flex”, capazes de extrair etanol a partir do milho e também de outras culturas (Milanez et al., 2014).

No oitavo levantamento de 2019/2020, realizado pelo Departamento de Agricultura do Estados Unidos (USDA, 2020), a previsão da produção mundial de milho deve estar por volta de 1,11 bilhões de toneladas, 0,2 % maior que o ciclo passado, principalmente, causado por um aumento de produção na China. Os Estados Unidos produzem cerca de 347,0 milhões de toneladas, se consolidando como maior produtor, seguido pela China (260,8 milhões de toneladas), e produzindo aproximadamente três vezes mais que o terceiro produtor, o Brasil com 101,0 milhões de toneladas, contribuindo no total os três países com 708,8 milhões de toneladas da produção mundial (USDA, 2020).

2.3 Melhoramento do milho no Brasil

No Brasil, o programa de melhoramento de milho híbrido teve início no Instituto Agrônomo de Campinas-IAC, em 1932, no estado de São Paulo, sendo o Brasil o segundo país a adotar o milho híbrido. A partir desses trabalhos, Krug e colaboradores produziram, em 1939, os primeiros cultivares brasileiros de milho, sendo essas variedades: Cateto Vermelho, Cristal, Armour e Itaci. A partir de 1953, passou a ser produzido o híbrido duplo H4624, semidentado, lançado pelo IAC, combinado com um híbrido simples dentado (linhagens Amarelão x Tuxpan) com um híbrido simples de

linhagem Cateto, dando origem a um híbrido com produtividade elevada (Galvão & Miranda, 2004).

Na Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Minas Gerais, o melhoramento do milho teve início em 1935, a partir dos trabalhos realizados por Gladstone Drummond & Antônio Secundino, que, por meio dos cruzamentos de algumas variedades nacionais, entre elas Catete, Xavier e Amarelão produziram em 1938 o primeiro híbrido comercial no Brasil (Souza-Sobrinho, 2001).

Após estes estudos, o Brasil passou a produzir milho em grande quantidade, tornando-se o terceiro maior produtor mundial deste grão e, junto a esse crescimento, surgiu a necessidade de se obter cultivares adaptáveis as várias regiões do Brasil, resistentes a pragas e tolerantes a condições ambientais adversas (Miranda, 2018).

Neste contexto, para atender as características peculiares e diversificadas das várias regiões produtoras do Brasil, foram desenvolvidos novos sistemas de produção e, para tanto, os melhoristas empenharam-se em obter híbridos de menor porte, precoces e mais eficientes na absorção de água, luz, temperatura e nutrientes. Tais características permitiram aperfeiçoar a utilização de germoplasmas de cultivares de milho de clima temperado nos mais diversos climas encontrados no território brasileiro (Nascimento et al., 2011).

Desde 1986, a Embrapa Milho e Sorgo possui um programa de desenvolvimento de cultivares de milho. Neste Programa foram obtidas cerca de 35 híbridos e 42 variedades com ativos genéticos como adaptação a solos ácidos, eficiência no uso de nutrientes, tolerância a doenças e características nutracêuticas (Oliveira & Trindade, 2018).

Além do IAC, UFV e Embrapa, nos últimos dezenove anos outras pesquisas com esse intuito tiveram aumento expressivo e, atualmente vêm crescendo ainda mais em várias instituições de pesquisa e universidades públicas como a UENF, UFLA, ESALQ, UNEMAT, e outras mais.

2.4 Interação genótipo por ambiente

Em um ambiente qualquer que seja, a expressão fenotípica é o resultado da ação do genótipo sob influência do meio. Entretanto, quando se leva em consideração diversos ambientes, pode-se detectar além dos efeitos genéticos e ambientais, um efeito adicional proporcionado pela interação dos mesmos (Cruz & Regazzi, 1997).

Essa interação, denominada interação GXA é o comportamento diferenciado de genótipos quando cultivados em vários ambientes, isto é, quando o desempenho fenotípico relativo dos genótipos é inconstante de um ambiente para outro (Chaves, 2001).

Nos programas de melhoramento genético de grandes culturas como o milho, um grande número de genótipos são testados anualmente em ambientes distintos, antes de sua recomendação e posterior multiplicação. Na maioria das vezes estes ambientes são diferentes, e, assim, verifica-se a ocorrência de interação entre genótipo e ambiente, o que afeta o ganho com a seleção e torna necessário estimar a magnitude e a natureza dessa interação. Esses tipos de estimativas proporcionam a avaliação do real impacto da seleção e asseguram um alto grau de confiabilidade na recomendação de genótipos para determinada localidade ou grupo de ambientes (Rosado et al., 2012).

A interação GXA é classificada como ausência de interação, interação simples ou interação complexa, de acordo com a resposta dos genótipos nos ambientes (Cruz & Regazzi, 2014). Para identificar estas manifestações diferenciadas nos ambientes, a decomposição da interação em partes simples e complexas foi proposta por Cruz e Castoldi (1991), onde a interação simples evidencia a diferença da variabilidade entre os genótipos, já a interação complexa demonstra a inconsistência da superioridade e do comportamento do genótipo com as variações nos ambientes.

Estudos visando investigar a interação GXA no milho tem sido realizado por diversos autores (Ribeiro & Almeida, 2011; Buso et al., 2016; Faria et al., 2017; Rosa et al., 2017; Olivoto et al., 2018; Bicalho et al., 2018). Todavia, apesar de sua importância, a simples análise da interação GxA não proporciona informações completas e exatas sobre o comportamento de cada genótipo em várias condições ambientais. Assim, a avaliação da adaptabilidade e estabilidade dos cultivares é uma alternativa para amenizar os efeitos da interação e identificar cultivares com comportamento previsível e responsivas as melhorias do ambiente (Cruz et al., 2012).

2.5 Estabilidade e adaptabilidade

Apesar de serem de grande importância para o melhoramento, pesquisas sobre a interação GXA não propiciam informações pormenorizadas sobre o comportamento de cada genótipo nas variações ambientais. Para tanto, realizam-se

análises de adaptabilidade e estabilidade pelas quais torna-se possível a identificação de cultivares de comportamento previsível, e que sejam responsivas as variações ambientais, seja em condições específicas ou amplas (Cruz & Regazzi, 2001).

Conforme citado por Cruz (2006), para diminuir o efeito da interação GxA, a condução dos experimentos no maior número possível de locais e anos é necessária, afim de se avaliar a magnitude da interação, e seu possível impacto sobre a seleção e a recomendação de cultivares. Com a intenção de tornar essa recomendação a mais segura possível, é necessário um estudo detalhado acerca da estabilidade e adaptabilidade das cultivares, assim como de seus caracteres economicamente mais importantes.

Amaral & Môro (2017) definem a estabilidade como a capacidade do genótipo em se manter constante, ou seja, com pequenas variações de resposta frente a variações ambientais diversas, sem considerar a favorabilidade do ambiente. Já a adaptabilidade diz respeito a resposta diferencial dos genótipos frente as variações ambientais, onde genótipos mais adaptados são mais responsivos.

Os estudos de estabilidade e adaptabilidade são basicamente procedimentos estatísticos que permitem identificar as cultivares de comportamento mais estável e que respondem previsivelmente as variações ambientais, respectivamente. Essas mesmas análises permitem dividir a interação em efeitos de genótipos e de ambientes, revelando a contribuição relativa de cada um para a interação total (Rocha, 2002).

Segundo Vencovsky & Barriga (1992), várias metodologias de análise de adaptabilidade e estabilidade estão disponíveis. Tais metodologias distinguem-se umas das outras devido aos conceitos de estabilidade adotados e de certos princípios estatísticos empregados. Os autores ainda relatam que a escolha de um método de análise depende dos dados experimentais, principalmente os relacionados ao número de ambientes disponíveis, da precisão requerida e do tipo de informação desejada.

Dentre os métodos propostos para estudar a estabilidade e a adaptabilidade fenotípica, destacam-se os procedimentos baseados na variância da interação GXA, regressão linear, modelos mistos, regressão linear bissegmentada, métodos não paramétricos e métodos multivariados. Baseados na análise de variância destacam-se os métodos propostos por Wricke (1965) e Annichiarico (1992); na regressão linear o método Eberhart & Russel (1966); em modelos mistos, o método REML/Blup (Resende, 2016); na análise não paramétrica os métodos Lin & Binns (1988) e Huehn

(1990); na análise de regressão quadrática o métodos proposto por Brasil & Chaves (1994); na regressão linear bissegmentada os métodos sugeridos por Cruz et al. (1989) e Storck & Vencovsky (1994), e baseado na análise multivariada AMMI (*Additive Main Effects and Multiplicative Interaction Analysis*) (Gauch & Zobel, 1996), entre outros.

Das metodologias de estabilidade e adaptabilidade existentes utilizadas para a recomendação de cultivares de milho, destaca-se pela sua ampla utilização, fácil aplicação e fácil interpretação dos resultados, o método proposto por Eberhart & Russell (1966). É um dos métodos mais antigos, e o mais utilizado para o milho de acordo com Murakami et al. (2004), o constante emprego dessa metodologia deve-se a sua praticidade de uso e aos resultados satisfatórios por ela fornecida. A recomendação de cultivares de milho com base nessa metodologia foi realizada por vários autores: Oliveira et al. (2013), Carvalho et al. (2014), Faria et al. (2017), Cargnelutti Filho & Guadagnin (2018).

Além da metodologia de Eberhart & Russell (1966), outros métodos como os propostos por Lin & Binns (1988) e Annicchiarico (1992) também vem sendo aplicado na seleção de cultivares de milho. Schmildt & Cruz (2005) compararam as metodologias de Annicchiarico com a de Eberhart & Russell (1966) e concluíram que o método Annicchiarico foi mais confiável. Santos et al. (2019) utilizaram a metodologia de Lin & Binns (1988) com as metodologias de Annicchiarico (1992) e AMMI, com o objetivo de descrever a estabilidade e adaptabilidade de doze híbridos de milho em 80 ambientes nos estados de Minas Gerais e Goiás, e conseguiram identificar híbridos promissores com menor risco.

Outras abordagens mais recentes propostas para a avaliação estabilidade e adaptabilidade, destacam-se a metodologia de modelos mistos por REML/Blup (Resende, 2016) e a análise AMMI (*Additive Main effects and Multiplicative Interaction Analysis*) (Gauch & Zobel, 1996). A análise AMMI destaca-se por permitir uma avaliação mais detalhada da interação GXA, propiciar estimativas mais precisas das respostas genotípicas, possibilitar a fácil interpretação gráfica dos resultados, além de permitir tirar conclusões sobre a estabilidade, o desempenho genotípico, a divergência genética dos cultivares e sobre os ambientes que otimizaram o desempenho desses (Duarte & Vencovsky, 1999). Para o milho, a aplicação dessa metodologia pode ser encontrada nos trabalhos de Cargnelluti Filho et al. (2009), Rosa et al. (2017) e

Ferreira (2018). Além desses autores, Passato-Júnior et al. (2017) utilizaram essa metodologia e a proposta por Annicchiarico (1992) e encontraram facilidades na recomendação de cultivares para o estado do Paraná e São Paulo.

Neste sentido, faz-se necessário realizar análises de estabilidade e adaptabilidade fenotípica por meio de diferentes métodos, pelas quais é possível a identificação de genótipos com comportamento previsível que sejam responsivos as variações ambientais, em condições específicas ou amplas, com maior confiabilidade (Cruz et al., 2014).

2.6 Métodos de estabilidade e adaptabilidade

Entre os métodos de estabilidade e adaptabilidade presentes na literatura, seguem abaixo descritos cinco métodos escolhidos para aplicação neste estudo.

2.6.1 Método baseado em análise de variância (ANOVA)

2.6.1.1 Annicchiarico (1992)

Annicchiarico (1992), é um método utilizado com base na análise de variância conjunta dos experimentos, considerando todos os ambientes e o posterior desdobramento da soma de quadrados dos efeitos de ambientes e da interação GXA, em efeitos de ambientes dentro de cada genótipo (Cruz & Regazzi, 2001).

A metodologia de Annicchiarico (1992) possui como estatística o índice de confiança (I_i), cujo resultado é expresso em porcentagem em relação à média dos ambientes analisados. O nível de significância deste teste é de 25% e a adaptabilidade e estabilidade são computadas por meio do desvio padrão entre as médias percentuais dos ambientes, conforme demonstrado por Schmidt & Cruz (2005).

Annicchiarico (2002) relata que o nível de confiança para o seu próprio teste pode variar de 70 até 95% para a agricultura moderna. No entanto, quanto maior o nível de confiança, mais difícil se torna a distinguir genótipos superiores, levando os pesquisadores da área a usarem apenas 75% como nível de confiança no método de Annicchiarico.

Dentre as vantagens deste método, destaca-se o benefício de auxiliar na recomendação das cultivares considerando o risco de apresentarem desempenho abaixo de um dado padrão, como por exemplo, a média geral. Quanto maior o índice

de confiança do cultivar, menor será sua probabilidade de insucesso (Gomes et al., 2002).

2.6.2 Método baseado em regressão linear

2.6.2.1 Eberhart & Russell (1966)

Primeiramente Finlay & Wilkinson (1963) desenvolveram uma metodologia para avaliar o desempenho genotípico com base nos processos de regressão. Posteriormente, Eberhart & Russell (1966) expandiram o modelo proposto por Finlay & Wilkinson (1963), sob o aspecto de que tanto os coeficientes de regressão dos valores fenotípicos de cada genótipo em relação ao índice ambiental, quanto os desvios desta regressão proporcionariam estimativas de parâmetros de estabilidade e adaptabilidade (Cruz & Regazzi, 1997)

A metodologia de Eberhart & Russel (1966), baseia-se numa análise de regressão linear simples na qual o índice ambiental (efeito do ambiente) é a variável independente, e a produtividade média de cada genótipo em cada ambiente representa a variável dependente. Os parâmetros de adaptabilidade e estabilidade são respectivamente, o coeficiente de regressão dos fenótipos em relação aos ambientes e a variância dos desvios dessa regressão. Assim, o genótipo ideal é aquele que apresenta alta produtividade e alta estabilidade, pouca sensibilidade às condições adversas, e capacidade de responder satisfatoriamente a melhoria do ambiente, ou seja, apresentar um coeficiente de regressão igual a 1 e desvio da regressão tão pequeno quanto possível. O método pode ser aplicado quando os genótipos são avaliados em um número suficientemente grande de ambientes, de modo a proporcionar comparações estatísticas válidas.

Eberhart & Russel (1966), é um dos métodos mais utilizados em culturas como milho, soja, feijão. Silva Filho et al. (2008) acreditam que isso acontece por que esta metodologia avalia as respostas dos genótipos à melhoria das condições ambientais.

2.6.3 Métodos baseados em análises não paramétricas

2.6.3.1 Lin & Binns (1988)

O método de Lin & Binns (1988), para se estimar o desempenho genotípico, é definido como o quadrado médio da distância entre a média do cultivar e a resposta média máxima para todos os ambientes. Essa metodologia consiste em uma análise

não paramétrica que identifica os genótipos mais estáveis por meio de um único parâmetro de estabilidade e adaptabilidade e contempla os desvios em relação à produtividade máxima obtida em cada ambiente, além de possibilitar o detalhamento dessa informação para ambientes favoráveis e desfavoráveis. Este método utiliza o índice de estabilidade P_i , que é o desvio do cultivar i em relação ao genótipo de desempenho máximo em cada ambiente. Logo, as cultivares com as menores estimativas de P_i apresentarão, proporcionalmente, as maiores contribuições da variação genética para esse valor, ou seja, contribuirão pouco para a interação, portanto mais adaptado será este genótipo.

2.6.4 Método baseado em análise multivariada

2.6.4.1 AMMI

A análise AMMI (*Additive Main effects and Multiplicative Interaction Analysis*) destaca-se por permitir uma avaliação mais detalhada da interação GXA, propiciar estimativas mais precisas das respostas genotípicas, possibilitar a fácil interpretação gráfica dos resultados, além de permitir tirar conclusões sobre a estabilidade, o desempenho genotípico, a divergência genética dos cultivares e sobre os ambientes que otimizaram o desempenho desses (Duarte & Vencovsky, 1999).

Esta metodologia combina, em um único modelo, a análise de variância dos efeitos aditivos de genótipos e ambientes com a análise de componentes principais do efeito multiplicativo da interação GXA (Chaves, 2001). Gauch & Zobel (1996) informam que esta análise pode ajudar tanto na identificação de genótipos de alta produtividade e largamente adaptados, como na realização do chamado zoneamento agrônomo, com fins de recomendação regionalizada e seleção de locais de teste. Zobel et al. (1988) sustentam que o método AMMI permite uma análise mais detalhada da interação GXA, garante a seleção de genótipos mais produtivos (capazes de capitalizar interações positivas com ambientes), propicia estimativas mais precisas das respostas genotípicas e possibilita uma fácil interpretação gráfica dos resultados da análise estatística.

A aplicação dessa metodologia na avaliação de cultivares de milho pode ser encontrada em vários trabalhos (Miranda et al. 2009; Rosa et al., 2017; Ferreira & Hongyu, 2018). Ferreira & Hongyu (2018) analisaram onze genótipos de milho em

sete ambientes e conseguiram identificar os genótipos com melhores características para produção em vários ambientes.

2.6.5 Método baseado em modelos mistos

2.6.5.1 REML/Blup

O uso de metodologias, como as baseadas em modelos lineares mistos REML (Máxima verossimilhança restrita)/BLUP (Melhor preditor linear não-viesado), permite obter estimativas de valores de variância, genotípicos ou médias genotípicas de progênes, bem como valores genéticos aditivos e genotípicos de indivíduos com alta acurácia, sendo de grande aplicabilidade no melhoramento genético (Resende & Fernandes, 1999).

Mesmo em condições de experimentos desbalanceados, essa abordagem permite: a predição acurada e não viesada dos valores genéticos, proporciona informações específicas sobre o mérito da progênie, de indivíduos nas progênes e considera até mesmo o ambiente da repetição onde está localizado um indivíduo. De tal modo, as propriedades do Blup permitem maximização da acurácia seletiva, minimização do erro de predição, predição não viciada de valores genéticos, maximização do ganho genético por ciclo de seleção e maximização da probabilidade de seleção do melhor entre dois ou vários genótipos (Resende, 2016).

A análise REML/BLUP baseia-se na seguinte relação: quanto menor for o desvio-padrão do comportamento genotípico através dos ambientes, maior será a média harmônica de seus valores genotípicos através dos ambientes. Desse modo, a seleção pelos maiores valores genotípicos da média harmônica dos valores genotípicos (MHVG) implica simultaneamente seleção para produtividade e estabilidade. A adaptabilidade refere-se ao desempenho relativo dos valores genotípicos (PRVG) através dos ambientes. Dessa forma, os valores genotípicos preditos (ou os dados originais) são representados como proporção da média geral de cada ambiente e, em seguida, obtém-se o valor médio dessa proporção através dos locais. A seleção conjunta para produção, estabilidade e adaptabilidade, utilizando modelos mistos, é feita pelo método da média harmônica do desempenho relativo dos valores genéticos (MHPRVG) preditos. Esse método, além de selecionar ao mesmo tempo pelas três propriedades mencionadas, apresenta as seguintes vantagens: (a) considera os efeitos aleatórios e, portanto estima a estabilidade e adaptabilidade

genotípica e não fenotípica; (b) elimina a pressuposição de balanceamento; (c) os delineamentos não precisam necessariamente ser ortogonais; (d) admite desigualdades de variâncias; (e) considera erros correlacionados dentro de locais; (f) elimina os efeitos de instabilidade dos valores genéticos; (g) não existe limitação quanto ao número máximo e mínimo de ambientes; (h) considera a estabilidade e adaptabilidade na seleção de indivíduos dentro da população; (i) independe da estimativa de outros parâmetros como os coeficientes de regressão; (j) resultados são padronizados com as do caráter avaliado; (k) possibilita fazer a seleção levando em conta três atributos simultaneamente (Resende, 2002).

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARAL, C. B.; MÔRO, G. V. Estabilidade e adaptabilidade do florescimento em variedades de milho. **Ciência & Tecnologia**. 9:1-5, 2017.
- ANDRADE, L. C.; MENEZES, C. C. B.; SILVA, K. J.; SANTOS, C. V.; EMYGDIO, B. M.; TARDIM, F. D. Avaliação de produtividade, adaptabilidade e estabilidade de genótipo de sorgo granífero em três ambientes. **Agropecuária técnica**. 37:36-43, 2016.
- ANNICCHIARICO, P. Cultivar adaptation and recommendation from alfalfa trials in Northern Italy. **Journal of Genetics and Breeding**. 46: 269-278, 1992.
- BARROS, J. F. C.; CALADO, J. G. C. A **Cultura do Milho**. **Escola de Ciências e Tecnologia**. Departamento de Fitotecnia. Évora: Universidade de Évora, 52p. 2014. Disponível em: <<https://dspace.uevora.pt/rdpc/bitstream/10174/10804/1/Sebenta-milho.pdf>>.
- BARROSO, L. M.; NASCIMENTO, M.; NASCIMENTO, A. C.; SILVA, F. F.; CRUZ, C. D.; BHERING, L. L.; FERREIRA, R. P. Metodologia para análise de adaptabilidade e estabilidade por meio de regressão quantílica. **Pesquisa agropecuária**. 50:290-297, 2015.
- BERGAMASCHI, H.; MATZENAUER, R. **O milho e o clima**. Porto Alegre: Emater/RS-Ascar, 2014. 84 p.
- BICALHO, T. F.; OLIVEIRA, A. M. E.; ALBUQUERQUE, C. J. B.; FREITAS, R. S. Adaptabilidade e estabilidade de linhagens de sorgo granífero em Uberaba - MG, Patos de Minas - MG e Votuporanga – SP. 10:1-8, 2018.
- BORÉM, A. **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa-MG: UFV, 2013. 523 p.
- BUSO, W. H., ARNHOLD, E. Evaluation of corn hybrids under contrasting water availability conditions. **Revista Caatinga**. 29:927-934, 2016.
- CALGNELUTTI-FILHO, A.; STORCK, L. ; RIBOLDI, J.; GUADAGNI, J. P. Associação entre métodos de adaptabilidade e estabilidade em milho. **Ciência Rural**. 39:340-347, 2009.
- CALGNELUTTI-FILHO, A.; GUADAGNIN, J. P. Number of experiments for adaptability and stability analysis in maizes by Lin and Binns method. **Ciência Rural**. 48:1-8, 2018.

- CARVALHO, E.V.; AFFÉRI, F.S.; PELÚZIO, J.M.; SANTOS, W. F.; BICUDO, S.J. Adaptabilidade na produção de massa verde e grãos de genótipos de milho no Tocantins, Brasil. **Revista Ciência Agronômica**. 45:856-862, 2014.
- CHAVES, L. J. Interação de genótipos com ambientes. In: NASS, L. L.; VALOIS, A.C. C.; MELO, I. S.; VALADARES-INGLIS, M. C. (Ed.). **Recursos genéticos e melhoramento planta**. Rondonópolis: Fundação MT. 2001. p. 673-713.
- COELHO, A.M.; CRUZ, J.C.; FILHO, I.A.P. **Desafios para obtenção de altas produtividades de milho**. Comunicado Técnico 112, Ministério da Agricultura Pecuária e abastecimento, 2004.
- CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de safra brasileiro – grãos: Nono levantamento**, junho 2013 – safra 2019/2020.: Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento. 2013. Disponível em:<<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>>.
- Acesso em: 02 agosto de 2019.
- CONTINI, E.; MOTA, M. M.; BORGHI, E.; MIRANDA, R. A.; SILVA, A. F.; SILVA, D. D.; MACHADO, J. R. A.; COTA, L. V.; COSTA, R. V. MENDES, S. M. **Milho**. Caracterização e desafios tecnológicos, parte 1. Brasília, DF, Embrapa, 2018. 35 p. (Desafios do Agronegócio Brasileiro). Nota Técnica. Disponível em <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/195075/1/Milhocaracterizacao.pdf>. Acesso em 20 de fevereiro de 2019.
- CRUZ, C. D.; TORRES, R. A.; VENCOSKY, R. Na alternative approach to the stability analysis proposed by Silva e Barreto. **Revista Brasileira de Genética**.12:567-580, 1989.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. Viçosa: UFV, 2014. v.2. 668 p.
- CRUZ, C.D., REGAZZI, A.J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 1997. v.1. 390 p.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 2004. v.2, 480 p.
- CRUZ C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 2012. v.1 . 544 p.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 2014. v.1. 668 p.

DUARTE, J. O.; GARCIA, J. C.; MIRANDA, R. A. Cultivo do Milho: Economia da produção. Sistema de Produção. **Embrapa milho e Sorgo (CNPMS)**, 7ª edição, set. 2011.

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

ENGELSING, M. J.; COIMBRA, J. L. M.; VALE, N. M.; BURILLI, L. D.; STINGHEN, J. C.; GUIDOLIN, A. F.; BERTOLDO. Adaptabilidade e estabilidade em milho: rendimento de grãos x severidade de cercosporiose. **Revista de Ciências Agroveterinárias**. 11:106-117, 2012.

FANCELLI, A. L.; DOURADO-NETO, D. **Produção de Milho**. Ed. Agropecuária, Milho: estratégias de manejo para alta produtividade. Piracicaba: Esalq/USP/LPV, 2000. v.1. 208 p..

FARIA, S. V., LUZ, L. S., RODRIGUES, C. C., CARNEIRO, J. E. S., CARNEIRO, P, C. S., DE LIMA, R, O. Adaptability and stability in comercial maize hybrids in the southeast of the State of Minas Gerais, Brasil. **Revista de Ciências Agronômica**. 48:347-357, 2017.

FERREIRA, A. A., HONGYU. Avaliação de rendimento de genótipos de milho em multiambientes. **Revista Biodiversidade**. 17:16-26, 2018.

FINLAY; WILKINSON. The analysis of adaptation in a plant-breeding programme. **Australian Journal of Agriculture Research**. 14:742-754, 1963.

FREITAS, I. L. J.; AMARAL JÚNIOR, A. T.; VIANA, A. P.; PENA, G. F.; CABRAL, P. S.; VITTORAZZI, C.; SILVA, T. R. C. Ganho genético avaliado com índices de seleção e com REML/Blup em milho-pipoca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 48:1464-1471, 2013.

GABRIEL, A.; FARIA, M. V.; BATTISTELLI, G, M.; ROSSI, A. S.; SILVA, C. A.; MARCK, D. F.; GAVA, E. Desempenho agrônômico e estabilidade de Topcrosses de milho avaliados em Minas e Paraná. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**. 17:303-316, 2018.

- GARCIA, L. C.; JASPER, R.; JASPER, M.; FORNARI, A. J.; BLUM J. Influência da velocidade de deslocamento na semeadura do milho. **Engenharia agrícola**. 26:520-527, 2006.
- GALINAT, W. C. "El Origen Del Maiz: El Grano De La Humanidad the Origin of Maize: Grain of Humanity." **Economic Botany**. 49:3-12, 1995.
- GALVÃO, J. C. C.; MIRANDA, G. V. **Tecnologia de Produção de Milho**. Viçosa: UFV, 2004. v.1 .56 p.
- GAUCH, H.G.; ZOBEL, R.W. AMMI analysis of yield trials. In: KANG, M.S.; GAUCH, H.G. (ed.). **Genotype by environment interaction**. Boca Raton: CRC, 1996. p. 85-122.
- HONGYU, K.; GARCIA-PEÑA, M.; ARAÚJO, L. B.; DIAS, C. T. S. Statistical analysis of yield trials by AMMI analysis of genotype x environment interaction. **Biometrical Letters**. 51:89-102, 2014.
- HONGYU, K; SILVA, F. L; OLIVEIRA, A. C. S; SARTI, D. A; ARAÚJO, L. B; DIAS, C. T. S. Comparação entre os MODELOS AMMI e GGE BILOT para os dados de ensaios multi-ambientais **Revista Brasileira de Biometria**. 33:139-155, 2015.
- HUENH, M.; NASSAR, R. Ontests of significance for nonparametric measures or phenotypic stability. **Euphytica**. 47:189-201, 1990.
- HUEHN, M. Nonparametric analysis of genotype x environment interactions by ranks. In: KANG, M. S.; GAUCH, H. G. **Genotype-by-environment interaction**. Boca Raton: CRC, 1996. p. 235-270.
- KAUL, J.; JAIN, K.; OLAKH, D. An Overview on Role of Yellow Maize in Food, Feed and Nutrition Security. **Int. Journ. Curr. Microbiol. App. Sci**. 8: 3037-3048, 2019.
- LIN, C. S.; BINNS, M. R. A superiority measure of cultivar performance for cultivar x location data. **Canadian Journal of Plant Science**. 68:193-198, 1988.
- LIMA, J. L. **Controle genético do florescimento em milho**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2006 56 p. (Dissertação-Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas).
- MALDANER, L. J.; HORING, K.; SCHNEIDER, J. F.; FRIGO, J. P.; AZEVEDO, K. D. DE; GRZESIUCK, A. E. Exigência agroclimática da cultura do milho (*Zea mays*). **Revista Brasileira de Energias Renováveis**. 3:13-23, 2014.

MILANEZ, A. Y.; NYKO, D.; VALENTE, M. S.; XAVIER, C. D. O. A Produção de etanol pela integração do milho-safrinha às usinas de cana-de-açúcar: avaliação ambiental, econômica e sugestões de política. **Revista do BNDDES**. 41:147–208, 2005.

MÔRO, G. V.; FRITSCHÉ N. R (2015). Importância e usos do milho no Brasil. In: Borém A, Galvão JCC, Pimentel MA (Eds.). **Milho: do plantio à colheita**. 1.ed. Viçosa: UFV, 2015. p. 09-25.

MENDES, F. F.; GUIMARÃES, L. J. M.; SOUZA, J. C.; GUIMARÃES, P. E. O.; PACHECO, C. A. P.; MACHADO, J. R. A.; MEIRELLES, W. F.; SILVA, A. R.; PARENTONI, S. N. Adaptability and stability of maize varieties using mixed model methodology. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**. 12:111-117, 2012.

MIRANDA, R.A.; DUARTE, J.O.; GARCIA, J.C. **Economia da produção**. Embrapa Milho e Sorgo, 2012. Acessado dia 25 de julho de 2019 http://www.cnpns.embrapa.br/publicacoes/milho_8_ed/economia.htm.

MIRANDA, R. A. de. Uma história de sucesso da civilização. **A Granja**. 74:24-27, 2018.

MURAKAMI, D.M.; CRUZ, C.D. Proposal of methodologies for environment stratification and analysis of genotype adaptability. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**. 4:11, 2004.

NASCIMENTO, E. S.; GILO, E. G.; TORRES, F. E.; SILVA JUNIOR, C. A.; OLIVEIRA, L. V. A.; LOURENÇÃO, A. S. Resposta de híbridos de milho a diferentes espaçamentos entre linhas. **Nucleus**. 9:131-140, 2011.

OLIVEIRA, R. B. R.; MOREIRA, R. M. P.; FERREIRA J. M. Adaptability and stability of maize landrace varieties. **Ciências Agrárias**. 34:2555-2564, 2013.

OLIVEIRA, M. F.; TRINDADE, R. S. **Seletividade do nicosulfuron em linhagens de híbridos de milho – fase II**. Embrapa Milho e Sorgo, 2018. 7 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica 246).

PAES, M. C. D. **Aspectos Físicos, Químicos e Tecnológicos do Grão de Milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. 6 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 75).

- RIBEIRO JZ & ALMEIDA MIM. Estratificação ambiental pela análise da interação genótipo x ambiente em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 46: 875-883, 2011.
- RIOS, S. A.; PAES, M. C. D.; BORÉM, A.; CRUZ, C. D.; GUIMARÃES, P. V. O.; SCHAFFERT, R. E.; CARDOSO, W. S.; PACHECO, C. A. Adaptability and stability of carotenoids in maize cultivars. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**. 9:313-319, 2009.
- ROCHA, M. M. **Seleção de linhagens experimentais de soja para adaptabilidade e estabilidade fenotípica**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2002. 184 p. (Tese - Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas).
- ROCHA, M.M.; FREIRE FILHO, F.R.; RIBEIRO, V.Q.; CARVALHO, H.W.L.; BELARMINO FILHO, J.; RAPOSO, J.A.A.; ALCÂNTARA, J.P.; RAMOS, S.R.R.; MACHADO, C.F. Adaptabilidade e estabilidade produtiva de genótipos de feijão-caupi de porte semi-ereto na Região Nordeste do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 42:1283-1289, 2007.
- ROSA, G. F., OLIVEIRA, D. A., SILVA, F. L., SAGRI, N. J., HONGYU, K. Verificação da adaptabilidade e estabilidade em milhos pelo método AMMI. **Revista Biodiversidade**. 16:68-81, 2017.
- ROSADO, A. M., ROSADO, T. B., ALVES, A. A., LAVIOLA, B. G., E BHERING, L. L. Seleção simultânea de clones de eucalipto de acordo com produtividade, estabilidade e adaptabilidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 47:964-971, 2012.
- ROSAS-CASTOR, J. M., GUZMÁN-MAR, J. L., RAMIREZ, A. H., GARZAGONZALEZ, M. T., HINOJOSA-REYES, L. Arsenic accumulation in maize crop (*Zea mays*): **Science of The Total Environment**. 488:176–187, 2014.
- SCHMILDT, E. R.; CRUZ, C. D. Análise da adaptabilidade e estabilidade do milho pelos métodos de Eberhart & Russell e de Annicchiarico. **Revista Ceres**. 52:45-58, 2005.
- SANTOS, W. F.; AFFÉRI, F. S.; PELÚZIO, J. M.; SILVA, R. M.; FARIA, L. A.; SODRÉ, L. F. Interação genótipo x ambiente para teor de óleo de milho em diferentes adubação e época. **Journal Bioenergy and Food Science**. 5:22-31, 2018.

SOUZA SOBRINHO, F. **Divergência genética de híbridos simples e alternativas para a obtenção de híbridos duplos de milho**. Lavras: UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS, 2001. 96 p. (Tese – Doutorado em Genética e Melhoramento).

STORCK, L.; VENCOVSKY, R. Stability analysis based on a bi-segmented discontinuous model with measurement errors in the variables. **Revista Brasileira de Genética**. 17:75-81, 1994.

PASSATO-JUNIOR, O.; FARIA, M. M. V.; BATTISTELLI, G. M.; ROSSI, E. S.; MARCK, D. F.; SILVA, C. A.; GABRIEL, A.; ELIZA, G. Avaliação de linhagens S2 de milho em *topcrosses* com linhagem-elite testadora. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**. 16:297-309, 2017.

OLIVOTO, T., CARVALHO, I. R., NARDINO, M., FERRARI, M., PELEGRIN, A. J., SZARESKI, V., DAMARI, G. H., SOUZA, V. Q. Caracteres morfológicos e rendimento de grãos de híbridos simples de milho em diferentes ambientes. **Revista de Ciências Agroveterinárias**.17:462-471, 2018.

PATERNIANI, E., MIRANDA FILHO, J. B. Melhoramento de populações. In: PATERNIANI, E., VIEGAS, G.P. (Eds.). **Melhoramento e produção de milho**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p.10.

PLAISTED, R. L.; PETERSON, L. C. A technique for evaluating the ability of selections to yield consistently in different locations or seasons. **American Potato Journal**. 36:381-385, 1959.

UNITED STATES DEPARTMENT AGRICULTURE – USDA. **Agricultural Projections**. Disponível em: <http://www.usda.gov/wps/portal/usda/usdahome>. Acesso em: 08 de agosto de 2019.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. v.1, 486p.

VIANA, F. M. S.; SILVEIRA, M. G.; PACHECO, C. A. P.; CRUZ, C. D.; CARVALHO, C. R. Hibridação em milho. In: BORÉM, A. **Hibridação artificial de plantas**. Viçosa: UFV, 1999. v.1, p. 401-426.

WRICKE, G.; WEBER, W. E. **Quantitative genetics and selection in plant breeding**. New York : Walter de Gruyter, 1986. v.1. 406p.

4 CAPÍTULOS

4.1 CAPÍTULO 1

INTERAÇÃO GENÓTIPO POR AMBIENTES EM 36 HÍBRIDOS DE MILHO (*Zea mays* L.) NO NORTE DE MATO GROSSO E SUDESTE DE RONDÔNIA

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o milho alcançou o patamar de maior cultura agrícola do mundo, sendo a única a atingir a marca de 1 bilhão de toneladas, ultrapassando antigos concorrentes, como trigo e o arroz (USDA, 2019). Concomitantemente à sua importância em termos de produção, a cultura ainda se destaca pelos mais diversos usos (Contini et al., 2019). Além da relevância no aspecto de segurança alimentar, na alimentação humana e, principalmente animal, é possível produzir com o milho uma infinidade de produtos, tais como, bebidas, polímeros, e até mesmo etanol (Miranda, 2018).

Atualmente o Brasil encontra-se como o terceiro maior produtor de milho do mundo. O levantamento efetuado pelo USDA revelou que foram mais de 1,1 bilhão de toneladas produzidos na safra 2018/2019. E quando se trata em produção nacional, o estado de Mato Grosso entra em destaque como o maior produtor do grão com mais de 31.24 milhões de toneladas na safra de 2018/2019 (CONAB, 2019). A região norte de Mato Grosso é a maior produtora de milho, produzindo cerca de 21.8 milhões de toneladas (IBGE, 2019). Nessa região estão localizados os principais municípios produtores de milho, como Sorriso, Sinop, Nova Mutum e outros responsáveis por elevar o estado ao primeiro lugar em produção. Outras regiões do estado, como a região sudeste mato-grossense, nordeste, sudoeste e centro-sul produziram cerca de 3.6 mil ton., 3.5 mil ton., 571 mil ton., e 344 mil toneladas, respectivamente. Essa diferença na produção de milho por região está relacionada com fatores climáticos, tais como quantidade de precipitação, temperaturas e radiação solar por ação conjunta e individual.

Diante do exposto, os programas de melhoramento genético de milho vêm testando genótipos superiores em diferentes ambientes, antes de realizarem a recomendação de uma cultivar específica para uma determinada região. As diferenças

entre os anos e as regiões de cultivo podem influenciar o comportamento produtivo das cultivares devido principalmente, à interação GXA (Cruz et al., 2012).

Nos programas de melhoramento genético, a existência dessas interações (GXA) determina o desenvolvimento de novos genótipos, afetando o ganho por meio da seleção, dificultando também a recomendação de genótipos com alta estabilidade produtiva de grãos (Cruz et al., 2006). A avaliação dessa interação nos programas de melhoramento é de grande importância, e só pode ser detectada quando pelo menos dois genótipos são cultivados em dois ou mais ambientes, e desta forma, compete ao melhorista quantificar a magnitude e a significância de seus efeitos para adotar estratégias que possam minimizá-la ou aproveitá-la (Cruz et al., 2012; Ramalho et al., 2012).

O objetivo deste estudo foi analisar o efeito da interação genótipo e ambiente para produção de grãos 36 híbridos simples de milho provenientes do ensaio elite 2017/2018 da Embrapa milho e sorgo, em seis ambientes de cultivo no Norte de Mato Grosso e Sudeste de Rondônia.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

Os experimentos foram conduzidos em seis ambientes, sendo eles: Vilhena-RO, Sorriso-MT, Sinop-MT 1, Alta Floresta-MT, Carlinda-MT E Sinop-MT 2 (Tabela 1). Na tabela 1, além das épocas de plantio de cada experimento, encontra-se os dados de coordenadas geográficas e dados de altitude (IBGE, 2020), bem como, as médias de temperatura e precipitação dos locais de avaliação obtidos conforme classificação de Köppen, atualizado por Alvares et al. (2013).

Tabela 1. Locais de implantação dos experimentos, localização geográfica, clima, temperatura média e precipitação média para os seis ambientes de avaliação.

Ambientes	Época	Coordenadas	Clima	T (°C)	PP (mm)	Altitude (m)
Vilhena-RO	Safrinha 17/18	60° 09' 38"W/12°78' 98"S	Am	25,2	252	615
Sorriso-MT	Safrinha 17/18	55° 42' 39"W/12°32' 42"S	Aw	25,0	194	365
Sinop-MT 1	Safrinha 17/18	55° 35' 51"W/11°52'17"S	Am	25,8	220	384
Alta Floresta-MT	Safrinha 17/18	56° 20' 90"W/10°09' 86"S	Am	26,3	253	283
Carlinda-MT	Safrinha 17/18	55° 49' 52"W/09° 49' 52"S	Am	25,0	251	290
Sinop-MT 2	Safrinha 17/18	55° 35' 51"W/11°52'17"S	Am	25,8	220	384

T= temperatura em graus Celsius; PP= precipitação anual média em milímetros.

Material genético

Para a realização do estudo da interação genótipo X ambiente, os tratamentos foram realizados com 32 híbridos experimentais provenientes do Programa de Melhoramento da Embrapa Milho e Sorgo, e quatro testemunhas comerciais, sendo duas desenvolvidas pela empresa Dekalb e duas desenvolvidas pela Embrapa Milho e Sorgo, perfazendo um total de 36 híbridos de milho avaliados (Tabela 2).

Todos os híbridos avaliados neste trabalho fazem parte do ensaio elite Centro-Oeste e Norte 2017/2018, pertencentes ao Centro Nacional de Pesquisa Milho e Sorgo (CNPMS/Embrapa) de Sete Lagoas-MG.

Tabela 2. Características dos 34 híbridos experimentais, 4 testemunhas comerciais avaliados em seis ambientes no Norte de Mato Grosso e Sudeste de Rondônia

Híbridos	Tipo	Empresa
1L1411	HS	Embrapa Milho e Sorgo
1M1804	HS	Embrapa Milho e Sorgo
1M1810	HS	Embrapa Milho e Sorgo
1M1807	HS	Embrapa Milho e Sorgo
1M1782	HS	Embrapa Milho e Sorgo
1N1958	HS	Embrapa Milho e Sorgo
1O2034	HS	Embrapa Milho e Sorgo
1O2106	HS	Embrapa Milho e Sorgo
1O2112	HS	Embrapa Milho e Sorgo
*DKB310PRO2	HS	Dekalb
1O2073	HS	Embrapa Milho e Sorgo
1O2008	HS	Embrapa Milho e Sorgo
1O2018	HS	Embrapa Milho e Sorgo
1P2224	HS	Embrapa Milho e Sorgo
1P2227	HS	Embrapa Milho e Sorgo
1N1906	HS	Embrapa Milho e Sorgo
1P2216	HS	Embrapa Milho e Sorgo
*DKB390PRO2	HS	Dekalb
1P2193	HS	Embrapa Milho e Sorgo
1P2237	HS	Embrapa Milho e Sorgo
1P2203	HS	Embrapa Milho e Sorgo
*BRS3042	HT	Embrapa Milho e Sorgo
1P2184	HS	Embrapa Milho e Sorgo
1P2175	HS	Embrapa Milho e Sorgo
1P2214	HS	Embrapa Milho e Sorgo
1P2188	HS	Embrapa Milho e Sorgo
1P2212	HS	Embrapa Milho e Sorgo
1P2273	HS	Embrapa Milho e Sorgo
1M1752	HS	Embrapa Milho e Sorgo
1P2255	HS	Embrapa Milho e Sorgo
1P2265	HS	Embrapa Milho e Sorgo
1P2247	HS	Embrapa Milho e Sorgo
*1F640	HS	Embrapa Milho e Sorgo
1P2231	HS	Embrapa Milho e Sorgo
1P2267	HS	Embrapa Milho e Sorgo
1P2215	HS	Embrapa Milho e Sorgo

*Testemunhas; HS: Híbrido simples; HT: Híbrido triplo.

Preparo da área

Antes da implantação dos experimentos foi realizado o preparo do solo para a homogeneização e nivelamento da área. Foram realizados dois tipos de adubações, uma de fundação no momento da semeadura (350 kg.ha⁻¹ de N-P-K 8-28-16) e duas adubações de cobertura (200 kg.ha⁻¹ de N-P-K 20-00-20 e 200 kg.ha⁻¹ de uréia 45%), aplicados aos 20 e 30 dias após o plantio, respectivamente.

Os tratos culturais, bem como o controle de pragas e doenças foi realizado de acordo com recomendações da cultura para a região.

Delineamento experimental

Os experimentos foram conduzidos em blocos casualizados (6x6), em duas repetições, totalizando 144 parcelas experimentais, uma vez que cada parcela foi composta de duas fileiras. As fileiras tiveram quatro metros de comprimento, espaçadas em 0,7 m.

Na semeadura foram utilizadas 22 sementes por fileira em profundidade de 0,05 m, espaçadas a 0,2 m entre plantas.

Variáveis analisadas

Avaliou-se a produtividade de grãos obtida pela pesagem dos grãos debulhados de cada parcela. Posteriormente, os dados foram submetidos a correção de stand, a partir da análise de covariância com correção para stand ideal (Schmidt, 2001), e corrigidas para 13% de umidade e convertida para kg ha⁻¹, conforme fórmula abaixo:

$$P(13\%) = \frac{P_i (100 - U)}{87}$$

Onde:

P (13%) = é o peso corrigido a 13% de umidade;

P_i = é o peso de grãos inicial; e

U = é a umidade dos grãos no momento da pesagem.

Análise estatística

Após a coleta dos dados, foi realizado uma análise de variância individual para cada ambiente adotando-se o seguinte modelo:

$$Y_{ij} = \mu + g_i + b_j + \varepsilon_{ij}$$

Onde:

Y_{ij} = é o valor observado obtido do i-ésimo genótipo avaliado no j-ésimo bloco;

μ = é a média geral;

g_i = é o efeito fixo do i-ésimo genótipo (i = 1, 2, ..., 36);

b_j = é o efeito do j-ésimo bloco (j= 1, 6); e

ε_{ij} = é o erro aleatório associado à observação y_{ij}.

Antes de realizar a análise de variância conjunta, testou-se a homogeneidade das variâncias, essas variâncias são consideradas homogêneas quando a razão entre o maior e o menor quadrado médio do resíduo (QMR) das análises individuais for menor que sete (Pimentel-Gomes, 2000). Como relação entre o maior e o menos QMR foi superior a sete, foi realizado um ajuste no número de graus de liberdade como proposto por Cochran (1954).

Em seguida foi realizado uma análise de variância conjunta com a finalidade de verificar a presença de interação GXA, de acordo com o seguinte modelo estatístico:

$$y_{ijk} = \mu + G_i + B/A_{jk} + A_j + GA_{ij} + \varepsilon_{ijk}, \text{ em que:}$$

y_{ijk} = é a observação do k-ésimo bloco, avaliado no i-ésimo genótipo e j-ésimo ambiente;

μ = é a média geral do ensaio;

G_i = é o efeito fixo do i-ésimo genótipo ($i = 1, 2, \dots, 36$);

$(B/A)_{jk}$ = efeito do bloco k dentro do ambiente (modelo 1);

A_j = efeito aleatório do ambiente j;

GA_{ij} = efeito da interação entre o genótipo i e o ambiente j; e

ε_{ijk} = é o erro experimental associado a observações y_{ijk} .

Como foi encontrada ocorrência de interação GXA significativa pelo teste F, foi realizado a decomposição da interação em partes simples e complexa conforme proposta por Cruz & Castoldi (1991) descrita abaixo:

$$C = \sqrt{(1-R)^3} \sqrt{Q1 Q2}, \text{ em que:}$$

$Q1$ e $Q2$: quadrados médios de genótipos nos pares de ambientes e,

R : correlação entre as médias dos genótipos nos dois ambientes.

As análises de variância individual e conjunta (ANOVA), decomposições em partes simples e complexa foram realizadas por meio do programa computacional Genes (Cruz, 2016).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos resultados da análise de variância individual, foi verificada diferença significativa pelo teste F ($p < 0,05$) entre as médias de produtividade de grãos de milho (Tabela 3). Os valores de coeficiente de variação (CV%) oscilaram de baixo à alto (6,02 a 22,58%), o que indica que as precisões experimentais variaram de baixo a regular (Ferreira, 1991). As médias de produtividades foram entre 7,744 kg ha⁻¹ (Sinop 1) e 11,594 kg ha⁻¹ (Sorriso), e média geral de 9,696 kg ha⁻¹. Essa média é superior a encontrada por Faria et al. (2017) na avaliação de 29 genótipos de milho na safra de 2014/2015 em cinco ambientes no estado de Minas Gerais (9,146 kg ha⁻¹), e maior que a média de produtividade obtida na última safra no estado de Mato Grosso (6,365 kg ha⁻¹) (CONAB, 2019).

Tabela 3. Resumo da análise de variância individual da produtividade dos grãos de 36 híbridos de milho em seis ambientes no Norte de Mato Grosso e Sudeste de Rondônia.

Ambientes	Época de plantio	QMG	Média (PG)	CV (%)
Sinop-MT 1	Safrinha 17/18	487523,55*	7,744	11,27
Vilhena-RO	Safrinha 17/18	870572,07**	10,366	8,42
Sorriso-MT	Safrinha 17/18	570114,18**	11,594	6,02
Alta Floresta-MT	Safra 17/18	513125,61**	10,680	7,95
Carlinda-MT	Safra 17/18	1095568,41**	9,455	11,44
Sinop-MT 2	Safra 17/18	3548612,48**	8,335	22,58

** e * = significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente; QMG= quadrado médio do genótipo; PG=produtividade de grãos; CV=coeficiente de variação.

Apesar dos ambientes de Sinop terem apresentadas menores médias de produtividade em relação aos outros ambientes, estes resultados são considerados satisfatórios, sendo superior à produtividade média Estadual de Mato Grosso (6,365 kg ha⁻¹) (CONAB, 2019).

Por meio desses resultados, foi possível a realização da análise conjunta e avaliar o efeito para as fontes de variações do genótipo e genótipo x ambiente (Tabela 4).

Os resultados da análise de variância conjunta, significâncias dos quadrados médios, bem como a média e o coeficiente de variação experimental para os seis ambientes encontram-se na Tabela 4. Observa-se que a produtividade média de grãos foi de 9.696 kg ha⁻¹ e o CV% foi de 21,81%, valor ao qual Ferreira (1991) classifica como regular. Em outros ensaios com milho conduzidos por Ferreira & Hongyu (2018) e Rosa et al. (2017), foram encontrados valores de CV% próximos ao encontrado neste estudo, 17,23% e 18,93% respectivamente, possibilitando inferir que o

percentual encontrado neste estudo está dentro dos padrões aceitáveis de precisão experimental.

Tabela 4. Resumo da análise de variância conjunta da produtividade dos grãos de 36 híbridos de milho em seis ambientes no Norte de Mato Grosso e Sudeste de Rondônia

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios
		PG
Bloco/Ambiente	6	328533,6
Genótipo	35	1967964,89 ^{ns}
Ambientes	5	53087694,43 ^{**}
Genótipo X Ambientes	78	2666458,16 ^{**}
Resíduo	83	1387479,34
Média (kg ha ⁻¹)		9,696
CV (%)		21,81

^{**} =significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; ^{ns} = não significativo; GL= graus de liberdade; PG=produtividade de grãos; CV=coeficiente de variação.

Por meio dos resultados apresentados na Tabela 3, constatou-se a presença de efeito significativo a nível de 1% de probabilidade para a interação entre os genótipos e ambientes. A constatação da existência dessa interação, demonstra o comportamento diferenciado entre os genótipos em cada ambiente frente a variação ambiental, justificando estudos mais detalhados no sentido de desdobrar os efeitos da interação.

A existência de interação GXA significativa para produtividade de grãos de milho é muito relatada na literatura, em decorrência, principalmente das diferenças na capacidade de adaptação dos híbridos aos locais de cultivo (Ferrão et al., 2007; Carvalho et al., 2013; Silva et al., 2014; Rosa et al., 2017; Olivoto et al., 2018; Ferreira & Hongyu, 2018; Mendonza et al., 2019). Grande parte desses trabalhos realizam a decomposição dessa interação em partes simples e complexas (Cruz & Castoldi, 1991). Conhecer o tipo predominante na interação GXA tem importância em programas de melhoramento (Vencovsky, 1978) por possibilitar o uso dessa informação na tomada de decisão, como por exemplo no desenvolvimento de genótipos a amplas condições ambientais ou específicas (Felipe et al., 2010).

Diante da constatação da resposta diferencial dos genótipos de milho, quanto a produtividade de grãos frente as diferenças ambientais, quantificou-se a natureza desta interação conforme decomposição proposta por Cruz & Castoldi (1991) (Tabela 5).

Tabela 5. Resumo da decomposição da interação GXA em partes simples e complexas para a característica produtividade de grãos de 36 híbridos de milho avaliados em seis ambientes.

Ambientes	Interação simples (S%)	Interação complexa (C%)
1 x 2	20,71	79,28
1 x 3	2,69	97,30
1 x 4	9,57	90,42
1 x 5	11,53	88,46
1 x 6	52,16	47,83
2 x 3	-4,52	104,52
2 x 4	17,18	82,81
2 x 5	-1,70	101,70
2 x 6	35,93	64,06
3 x 4	9,30	90,69
3 x 5	11,65	88,34
3 x 6	41,35	58,64
4 x 5	17,31	82,68
4 x 6	52,82	47,17
5 x 6	21,37	78,62

1=Sinop-MT 1; 2=Vilhena-RO; 3=Sorriso-MT; 4=Alta Floresta-MT; 5=Carlinda-MT; 6=Sinop-MT 2.

A decomposição proposta por Cruz & Castoldi (1991), classifica a interação em partes simples e complexas, de modo, que valores superiores a 50% da parte complexa classifica a interação como complexa, por outro lado, valores inferiores a essa referência, a de natureza simples. Assim, observa-se que das quinze possíveis comparações efetuadas entre os ambientes para interação simples, apenas duas apresentaram estimativas percentuais superiores a 50%, expressando interação do tipo simples. Em contrapartida, treze das quinze comparações efetuadas entre os ambientes para interação complexa foram superiores a 50%, evidenciando neste estudo superioridade da interação complexa em relação a interação simples. Os resultados encontrados neste estudo, corroboram com os resultados encontrados por Mendonza et al. (2019), onde os autores avaliaram quatro características, incluído produtividade de grãos de 34 híbridos de milho amiláceo em três ambientes e verificaram a predominância de interação do tipo complexa.

Essa superioridade indica que os genótipos apresentam respostas diferentes em função do ambiente de cultivo, indicando completa falta de correlação entre os comportamentos genotípicos de um ambiente para outro, como relatado por Cruz et al. (2012) em seus estudos.

Tavares et al. (2017), observaram que a indicação de genótipos pode ser prejudicada quando da ocorrência da interação do tipo complexa, tendo a necessidade de análises mais detalhadas, como estudo da estabilidade e adaptabilidade, que fornece informações mais detalhadas a respeito do comportamento dos genótipos,

apresentando um conhecimento de sua previsibilidade e sua resposta em relação a melhorias do meio.

Na Tabela 6 estão agrupadas as médias dos 36 híbridos cultivados nos ambientes. Pode-se observar que as médias não apresentaram um padrão na distribuição em relação aos ambientes, isto é, o híbrido que foi mais produtivo em um determinado ambiente, não foi em outro, o que caracteriza a presença da interação GXA.

Tabela 6. Teste de médias Scott knott para característica produtividade de grãos de 36 híbridos de milho cultivados em seis ambientes.

Genótipos	Tip o	Ambientes					
		Sinop 1	Vilhena	Sorriso	Alta Floresta	Carlinda	Sinop 2
1L1411	HS	4,103 Ba	6,317 Aa	7,313 Aa	6,581 Aa	5,676 Aa	7,285 Aa
1M1804	HS	4,085 Ba	5,033 Aa	6,683 Aa	5,564 Aa	5,010 Aa	2,728 Ba
1M1810	HS	4,209 Ba	4,775 Ba	6,709 Aa	5,935 Aa	6,311 Aa	4,422 Ba
1M1807	HS	4,007 Ba	4,800 Ba	6,662 Aa	6,739 Aa	5,674 Aa	6,443 Aa
1M1782	HS	4,021 Ba	5,934 Aa	6,178 Aa	6,034 Aa	5,141 Ba	7,342 Aa
1N1958	HS	4,761 Ba	5,546 Ba	7,636 Aa	5,966 Ba	4,840 Ba	5,320 Ba
1O2034	HS	4,468 Ba	5,918 Aa	6,015 Aa	5,761 Aa	2,769 Ca	6,328 Aa
1O2106	HS	4,141 Ba	5,085 Ba	6,890 Aa	6,179 Aa	6,425 Aa	3,864 Ba
1O2112	HS	4,732 Ba	6,166 Aa	6,516 Aa	6,031 Aa	5,374 Aa	4,104 Ba
*DKB310PRO2	HS	5,898 Aa	7,753 Aa	6,353 Aa	6,720 Aa	5,030 Aa	5,977 Aa
1O2073	HS	4,829 Aa	5,543 Aa	7,015 Aa	6,016 Aa	5,358 Aa	2,964 Ba
1O2008	HS	3,333 Ba	5,578 Aa	6,029 Aa	5,912 Aa	5,215 Aa	6,187 Aa
1O2018	HS	3,816 Ba	5,042 Aa	6,323 Aa	6,027 Aa	5,522 Aa	3,473 Ba
1P2224	HS	4,229 Ba	5,262 Aa	6,648 Aa	5,699 Aa	6,076 Aa	3,068 Ba
1P2227	HS	3,833 Ba	5,535 Aa	6,771 Aa	5,819 Aa	3,916 Ba	1,939 Ca
1N1906	HS	4,569 Ba	5,313 Aa	5,723 Aa	5,971 Aa	5,320 Aa	3,467 Ba
1P2216	HS	4,506 Aa	5,868 Aa	6,438 Aa	4,837 Aa	4,836 Aa	5,545 Aa
*DKB390PRO2	HS	5,000 Ba	6,619 Aa	5,370 Ba	6,589 Aa	6,097 Aa	4,140 Ba
1P2193	HS	4,456 Aa	5,081 Aa	6,166 Aa	5,833 Aa	4,345 Aa	5,661 Aa
1P2237	HS	3,345 Ba	7,363 Aa	6,216 Aa	6,352 Aa	5,557 Aa	4,352 Ba
1P2203	HS	4,579 Ba	6,421 Aa	6,671 Aa	5,380 Ba	5,016 Ba	4,967 Ba
*BRS3042	HT	4,494 Ba	5,813 Aa	7,031 Aa	6,393 Aa	4,716 Ba	3,866 Ba
1P2184	HS	3,837 Ba	6,283 Aa	6,852 Aa	6,860 Aa	5,385 Aa	2,154 Ca
1P2175	HS	4,186 Ba	5,654 Aa	6,419 Aa	4,685 Ba	5,397 Aa	3,843 Ba
1P2214	HS	4,577 Ba	4,984 Aa	6,872 Aa	6,167 Aa	6,268 Aa	5,332 Ba
1P2188	HS	4,196 Aa	5,752 Ba	4,974 Aa	5,297 Aa	5,372 Aa	2,178 Ba
1P2212	HS	4,637 Ba	5,442 Aa	7,061 Aa	6,261 Aa	5,455 Ba	4,177 Ba
1P2273	HS	3,836 Ba	5,657 Ba	6,564 Aa	5,256 Aa	5,232 Aa	3,018 Ba
1M1752	HS	3,932 Ba	6,184 Aa	6,316 Aa	5,638 Aa	5,591 Aa	3,510 Ba
1P2255	HS	4,627 Ba	6,335 Aa	7,300 Aa	6,608 Aa	5,421 Ba	4,739 Ba
1P2265	HS	3,698 Ba	5,790 Aa	6,260 Aa	5,868 Aa	3,963 Ba	2,508 Ba
1P2247	HS	4,789 Aa	6,622 Aa	6,706 Aa	5,929 Aa	6,676 Aa	5,921 Aa
*1F640	HS	4,878 Aa	5,751 Aa	6,206 Aa	5,817 Aa	5,452 Aa	3,326 Ba
1P2231	HS	4,493 Ba	6,308 Aa	6,143 Aa	6,124 Aa	5,200 Ba	4,965 Ba
1P2267	HS	4,395 Aa	5,643 Aa	6,842 Aa	5,771 Aa	5,716 Aa	5,817 Aa
1P2215	HS	4,649 Aa	5,797 Aa	5,876 Aa	6,733 Aa	5,292 Aa	6,292 Aa

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha, para híbridos e minúscula na coluna para ambientes, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey em 5% de significância. HS= híbrido simples; HT= híbrido triplo.

CONCLUSÕES

Houve diferença significativa ($p < 0,01$) para os efeitos de ambientes e interação genótipo x ambientes, evidenciando que os híbridos respondem de maneira diferente em cada ambiente.

Não houve um padrão na distribuição das médias em relação aos ambientes, caracterizando a presença de interação GXA.

Há diferença na média de produtividade entre os ambientes estudados e os ambientes de Vilhena-RO, Sorriso-MT e Alta Floresta-MT foram mais favoráveis, com médias de produtividade superior a 10 ton ha^{-1} .

As diferenças de produção entre os ambientes Sinop-MT 1; Vilhena-RO; Sorriso-MT; Alta Floresta-MT; Carlinda-MT e Sinop-MT 2 foram suficientemente elevadas para o estabelecimento de programas de melhoramento próprios para cada ambiente.

A decomposição proposta por Cruz & Castoldi (1991) revelou neste estudo predominância da interação complexa, justificando uma análise detalhada no sentido de desdobrar os efeitos da interação, como os estudos de estabilidade e adaptabilidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELJHAS, P. S.; MORAES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**. 22:711–728, 2013.
- CARVALHO, E. V.; AFFÉRRRI, F. S.; PELUZIO, J. M.; ROTILI, E. A.; DOTTO, M. A.; SANTOS, W. F. Estratificação e dissimilaridade em genótipos de milho no Tocantins, com adubação e safra distintas. 4:277-284, 2013.
- CONAB (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO). **Acompanhamento de safra brasileira: grãos, safra 2019/20**, quarto levantamento. Brasília, DF, Janeiro de 2019. Disponível: < <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>>. Acesso em: 25 de julho 2019.
- CONTINI, E.; MOTA, M. M.; BORGHI, E.; MIRANDA, R. A.; SILVA, A. F.; SILVA, D. D.; MACHADO, J. R. A.; COTA, L. V.; COSTA, R. V. MENDES, S. M. **Milho**. Caracterização e desafios tecnológicos, parte 1. Brasília, DF, Embrapa, 2018. 35 p. (Desafios do Agronegócio Brasileiro). Nota Técnica. Disponível em <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/195075/1/Milhocaracterizacao.pdf>. Acesso em 20 de fevereiro de 2019.
- CRUZ, C.D.; CASTOLDI, F. Decomposição da interação genótipos x ambientes em partes simples e complexas. **Revista Ceres**. 38:422-430, 1991.
- CRUZ C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 2012, 544 p.
- CRUZ, C. D. Genes Software – extended and integrated with the R, Matlab and Selegen. **Acta Scientiarum. Agronomy**. 38:547-552, 2016.
- FARIA, S. V., LUZ, L. S., RODRIGUES, C. C., CARNEIRO, J. E. S., CARNEIRO, P, C. S., DE LIMA, R, O. Adaptability and stability in comercial maize hybrids in the southeast of the State of Minas Gerais, Brasil. **Revista de Ciências Agronômica**. 48:347-357, 2017.
- FERRÃO, R. G.; FERRÃO, M. A. G.; FONSECA, A. F. A. Interação com ambiente, estabilidade e adaptabilidade de cultivares de milho precoce no Estado do Espírito Santo. **Revista Ceres**. 54:390-397, 2007.

- FERREIRA, P. V (1991). **Estatística experimental aplicada à agronomia**. Maceió, EDUFAL. 1991, 437 p.
- FERREIRA, A. A., HONGYU. Avaliação de rendimento de genótipos de milho em multiambientes. **Revista Biodiversidade**. 17:16-26, 2018.
- FRITSCHÉ-NETO, R. VIEIRA, R. A. SCAPIM, C. A., MIRANDA, G. V., REZENDE, L. M. Updating the ranking of the coefficients of variation from maize experiments. **Acta Scientiarum Agronomy**. 34:99-101, 2012.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Agrícola: Lavoura temporária 2019**. Disponível em:<<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9201levantamento-sistematico-da-producao-agricola.html?=&t=destaques>>. Acesso em 8 agosto 2019.
- MIRANDA, R. A. de. Uma história de sucesso da civilização. **A Granja**. 74:24-27, 2018.
- OLIVOTO, T., CARVALHO, I. R., NARDINO, M., FERRARI, M., PELEGRIN, A. J., SZARESKEI, V., DAMARI, G. H., SOUZA, V. Q. Caracteres morfológicos e rendimento de grãos de híbridos simples de milho em diferentes ambientes. **Revista de Ciências Agroveterinárias**. 17:462-471, 2018.
- RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J.B.; ABREU, A.F.B.; NUNES, J.A.R. **Aplicações da Genética Quantitativa no Melhoramento de Plantas Autógamas**. Lavras: Editora UFLA, 2012. 522p.
- ROSA, G. F., OLIVEIRA, D. A., SILVA, F. L., SAGRI, N. J., HONGYU, K. Verificação da adaptabilidade e estabilidade em milhos pelo método AMMI. **Revista Biodiversidade**. 16:68-81, 2017.
- SCHMILDT, E.R.; CRUZ, C.D.; ZANUNCIO, J.C.; PEREIRA, P.R.G.; FERRÃO, R.G. Avaliação de métodos de correção do estande para estimar a produtividade em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, n.8, p.1011-1018, 2001.
- SILVA, P. R.; BISOGNIN, D. A.; LOCATELLI, A. B.; STORCK, L. Adaptability and stability of corn hybrids grown for high grain yield. **Acta Scientiarum Agronomy**. 36:175-181, 2014.
- TAVARES, T.; SOUSA, S.; SALGADOS, F.; SANTOS, G.; LOPES, M.; FIDELIS, R. Adaptabilidade e estabilidade da produção de grãos de feijão comum (*Phaseolus vulgaris*). **Revista de Ciências Agrárias**. 40:411-418, 2017.

UNITED STATES DEPARTMENT AGRICULTURE – USDA. **Agricultural Projections**. Disponível em: <http://www.usda.gov/wps/portal/usda/usdahome>. Acesso em: 08 de agosto de 2018.

4 CAPÍTULOS

4.1 CAPÍTULO 2

ESTABILIDADE E ADAPTABILIDADE EM HÍBRIDOS DE MILHO NO NORTE DE MATO GROSSO E SUDESTE DE RONDÔNIA

INTRODUÇÃO

Estudos experimentais que investigam o comportamento de genótipos em multi-locais têm ganhado reconhecimento mundial e sido cada vez mais aplicados no melhoramento de plantas cultivadas, uma vez que estes estudos fornecem dados que por meio da aplicação de estatística adequada, são capazes de prever o comportamento diferenciado dos genótipos frente as variações edafoclimáticas e até mesmo recomendá-los para regiões específicas de adaptação (Rosa et al., 2017).

No melhoramento de plantas, o estudo em multi-ambientes tem como principais objetivos: avaliar a interação genótipo x ambiente (GXA), analisar a adaptabilidade e estabilidade dos genótipos, estabelecer relações entre ambientes, genótipos e entre os genótipos e ambientes, fazer previsões dos valores de produção fenotípica nos países para o ciclo de produção seguinte (Ferreira & Hongyu, 2018). A presença da interação GXA complica o processo e muitas vezes é resultado de uma inconsistência de alguns genótipos em relação a outros, devido a mudança na classificação genotípica ou até mesmo a diferenças entre os genótipos sem classificação (Araújo et al., 2012; Gauch, 2013).

Para Cruz & Carneiro (2003) a adaptabilidade é definida como sendo a capacidade de os genótipos aproveitarem vantajosamente o estímulo do ambiente, enquanto que a estabilidade diz respeito a capacidade dos genótipos mostrarem um comportamento altamente previsível em função do estímulo do ambiente.

O estudo da adaptabilidade e da estabilidade torna possível a identificação dos efeitos da interação GXA em nível de genótipo e de ambiente, mostrando a contribuição relativa para a interação total (Rocha et al., 2007; Rosa et al., 2017; Amaral & Môro, 2017). Várias metodologias genético-estatísticas têm sido desenvolvidas com o intuito de melhor quantificar este efeito, mas as posições críticas dos estatísticos que atuam em programas de melhoramento genético, referem-se a

falta de uma análise criteriosa da estrutura da interação GXA. Tradicionalmente, a análise dessa estrutura é superficial, não detalhando os efeitos da complexidade da interação (Rosa et al., 2017).

A identificação de um genótipo adaptável e estável bem como sua recomendação, pode ser feita por meio de técnicas de análises estatísticas refinadas como o método de Annicchiarico (1992), baseado na análise de variância, Eberhart e Russell (1966), baseado na regressão linear, Lin & Binns (1988), baseado na estatística não paramétrica, AMMI (*Additive Main effects and Multiplicative Interaction*), combina a análise de variância e a análise de componentes principais (Zobel et al., 1988), e mais recente o método REM/Blup, baseado em modelos mistos (Resende, 2016).

Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar a adaptabilidade, estabilidade e produtividade de grãos de milho na região Norte de Mato Grosso e Sudeste de Rondônia.

MATERIAL E MÉTODOS

Material Genético

Após a realização das análises de variância individual e conjunta e verificada a presença de interação (GXA), procederam-se as análises de adaptabilidade e estabilidade com os 36 híbridos avaliados nos seis ambientes (Tabela 7).

Tabela 7. Características dos 34 híbridos experimentais, 4 testemunhas comerciais avaliados em seis ambientes no Norte de Mato Grosso e Sudeste de Rondônia

	Genótipos	Tipo	Empresa
G1	1L1411	HS	Embrapa Milho e Sorgo
G2	1M1804	HS	Embrapa Milho e Sorgo
G3	1M1810	HS	Embrapa Milho e Sorgo
G4	1M1807	HS	Embrapa Milho e Sorgo
G5	1M1782	HS	Embrapa Milho e Sorgo
G5	1N1958	HS	Embrapa Milho e Sorgo
G7	1O2034	HS	Embrapa Milho e Sorgo
G8	1O2106	HS	Embrapa Milho e Sorgo
G9	1O2112	HS	Embrapa Milho e Sorgo
G10	*DKB310PRO2	HS	Dekalb
G11	1O2073	HS	Embrapa Milho e Sorgo
G12	1O2008	HS	Embrapa Milho e Sorgo
G13	1O2018	HS	Embrapa Milho e Sorgo
G14	1P2224	HS	Embrapa Milho e Sorgo
G15	1P2227	HS	Embrapa Milho e Sorgo
G16	1N1906	HS	Embrapa Milho e Sorgo
G17	1P2216	HS	Embrapa Milho e Sorgo
G18	*DKB390PRO2	HS	Dekalb
G19	1P2193	HS	Embrapa Milho e Sorgo
G20	1P2237	HS	Embrapa Milho e Sorgo
G21	1P2203	HS	Embrapa Milho e Sorgo
G22	*BRS3042	HT	Embrapa Milho e Sorgo
G23	1P2184	HS	Embrapa Milho e Sorgo
G24	1P2175	HS	Embrapa Milho e Sorgo
G25	1P2214	HS	Embrapa Milho e Sorgo
G26	1P2188	HS	Embrapa Milho e Sorgo
G27	1P2212	HS	Embrapa Milho e Sorgo
G28	1P2273	HS	Embrapa Milho e Sorgo
G29	1M1752	HS	Embrapa Milho e Sorgo
G30	1P2255	HS	Embrapa Milho e Sorgo
G31	1P2265	HS	Embrapa Milho e Sorgo
G32	1P2247	HS	Embrapa Milho e Sorgo
G33	*1F640	HS	Embrapa Milho e Sorgo
G34	1P2231	HS	Embrapa Milho e Sorgo
G35	1P2267	HS	Embrapa Milho e Sorgo
G36	1P2215	HS	Embrapa Milho e Sorgo

*Testemunhas; HS: Híbrido simples; HT: Híbrido triplo.

Os experimentos foram conduzidos nos ambientes: Sinop-MT (A1), Vilhena-RO (A2), Sorriso-MT (A3) Alta Floresta-MT (A4), Carlinda-MT (A5), e Sinop-MT 2 (A6). Sinop foi avaliado em duas épocas de colheita (2017/2018 e 2018/2019) e por isso foi considerado como dois ambientes (Tabela 8).

Tabela 8. Ambientes de avaliação e época de plantio dos híbridos nos seis ambientes

Ambientes de cultivo	Época de plantio
(A1) Sinop-MT 1	Safrinha 2017/2018
(A2) Vilhena-RO	Safrinha 2017/2018
(A3) Sorriso-MT	Safrinha 2017/2018
(A4) Alta Floresta-MT	Safra 2017/2018
(A5) Carlinda-MT	Safra 2017/2018
(A6) Sinop-MT 2	Safra 2017/2018

Característica avaliada

A produtividade de grãos (PG) foi avaliada por meio da pesagem dos grãos debulhados de cada parcela. Posteriormente, os dados foram submetidos a correção de stand, a partir da análise de covariância com correção para stand ideal (Schmidt, 2001), e corrigidas para 13% de umidade e convertida para kg.ha⁻¹.

Análise de estabilidade e adaptabilidade

O estudo da estabilidade e adaptabilidade foi realizado utilizando cinco metodologias, sendo elas: Annicchiarico (1992), Lin & Binns (1988), Eberhart & Russell (1966), AMMI (*Additive Main effects and Multiplicative Interaction*) e modelos mistos (REML/Blup).

Método de Annicchiarico (1992)

Esta metodologia estima o índice de confiança (I_i), de acordo com o seguinte modelo estatístico:

$$I_i = Y_i - Z_{(1-\sigma)} \cdot S_i$$

Onde:

I_i = é o índice de confiança em porcentagem (%);

Y_i = é a média do genótipo i em porcentagem (%);

$Z_{(1-\sigma)}$ = é o valor na distribuição normal standardizada no qual a função de distribuição acumulada atinge o valor $(1 - \sigma)$, com nível de significância σ pré-fixada pelo autor em 0,25.

S_i = é o desvio padrão dos valores percentuais.

Modelo de Eberhart & Russell (1966)

Neste método, os parâmetros que expressam a estabilidade e a adaptabilidade são a média, a resposta linear, a variação ambiental e o desvio da regressão de cada genótipo avaliado, obtido por meio do seguinte modelo:

$$\bar{y}_{ij} = \beta_{0i} + \beta_{1i} I_j + \delta_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

Onde:

$\bar{y}_{ij}$ = é a média do genótipo i, no ambiente j;

β_{0i} = é a média geral do genótipo i (i=1, 2, 3,..., 36);

β_{1i} = é o coeficiente da regressão linear, que mede a resposta do i-ésimo genótipo à variação do ambiente;

I_j = é o índice ambiental codificado (j=1, 2, 3,..., 6),

δ_{ij} = é o desvio da regressão; e

ε_{ij} = é o erro experimental médio.

Método de Lin & Binns (1988)

Para a utilização do método de Lin & Binns (1988) foi empregado o seguinte modelo:

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

Onde:

P_i = é o índice de estabilidade do genótipo i;

X_{ij} = é a produtividade do genótipo i no ambiente j;

M_j = é a resposta máxima obtida entre todas as cultivares dentro do ambiente j;

n = é o número de ambientes.

Método de AMMI

Para o método de Análise da interação multiplicativa dos efeitos principais aditivos (AMMI), foi utilizado o seguinte modelo:

$$\bar{y}_{ij} = \mu + g_i + a_j + \sum_{k=1}^n \lambda_k Y_{ik} \alpha_{jk} + \rho_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

Onde:

$\bar{y}_{ij}$ = é a produtividade média do genótipo (i = 1, 2,...,36) no ambiente j (j = 1, 2,...,5);

μ = é a média geral dos experimentos;

g_i = valor singular da matriz de interações;

a_j = é o efeito do ambiente j;

λ_k = k-ésimo valor singular da matriz;

Y_{ik} = é o elemento correspondente ao i-ésimo genótipo; no k-ésimo vetor singular coluna da matriz GA;

α_{jk} = é o elemento correspondente ao j-ésimo ambiente no k-ésimo vetor singular linha da matriz GA;

ρ_{ij} = é o resíduo associado ao termo da interação clássica do genótipo i com o ambiente j;

ε_{ij} = é o erro experimental médio associado à observações assumindo como independente $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$;

n = é o número de eixos ou de componentes principais retido para descrever o padrão da interação GXA.

Método REML/Blup

As análises estatísticas considerando modelos mistos via REML/Blup foram realizadas utilizando o modelo 52 do software SELEGEM-REML/Blup (Resende, 2016), adequado para análise de ensaios em blocos incompletos instalados em vários locais, fornecendo também valores preditos da medida de adaptabilidade e estabilidade MHPRVG, conforme o seguinte modelo:

$$Y = Xr + Zg + Wp + e$$

Onde:

Y = é o vetor de observações fenotípicas para um caráter;

X = é a matriz de incidência para os efeitos fixos;

r = é o vetor de efeitos replicados (assumido como fixo) adicionado à média geral;

Z = Matriz de incidência para os efeitos genotípicos;

g = é o vetor efeitos genotípicos individuais (assumidos como aleatória);

W = é a matriz de incidência para os efeitos de parcelas;

p = é o vetor de efeitos de plotagem (aleatório); e

e = é o vetor de erros ou resíduos (aleatórios).

Por meio desse modelo, foram obtidos os preditores Blup (REML/Blup) dos valores genotípicos livres da interação GXA, dados por $\mu_j + g_j$, em que μ é a média de todos os ambientes e g_i , ou seja, a predição do efeito genotípico. Para cada ambiente j, os valores genotípicos (Vg) são preditos por $\mu_j + g_i + (ge)_{ij}$, em que μ_j é a média do ambiente j; g_i é o efeito do genótipo i, no ambiente j; e $(ge)_{ij}$ é o efeito da interação GXA relativa ao genótipo i.

Análises estatísticas

As análises estatísticas foram realizadas por meio do programa computacional Genes com integração com o programa estatístico R (Cruz, 2016), e para a metodologia de REML/Blup foi utilizado o programa Selegen (Resende, 2016).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Metodologia de Annicchiarico (1992)

A análise de estabilidade pelo método de Annicchiarico (1992), classificou os ambientes de Sinop 1, Sinop 2 e Carlinda com índice ambiental negativo (-1092,83, -761,45 e -134,54, respectivamente), sendo considerados como ambientes desfavoráveis, e Vilhena, Sorriso e Alta Floresta com índices ambientais positivos (374,47, 1062,7 e 551,66, respectivamente) sendo assim classificados como ambientes favoráveis (Tabela 9). Observa-se que os ambientes classificados como favoráveis, foram também os mais produtivos, evidenciando que esses ambientes possuem alto potencial para cultivos de híbridos, resultados que concordam com os encontrados por Passato-Junior et al. (2017) para a cultura do milho.

Tabela 9. Média de produtividade de grãos (PG em Kg ha⁻¹), índice de confiança (I_i) e classificação dos seis ambientes pelo método de Annicchiarico (1992).

Ambientes	Época	PG	Índice de confiança (I _i)	Classificação
Vilhena-RO	Safrinha 17/18	5,804	374,472	Favorável
Sorriso-MT	Safrinha 17/18	6,493	1062,708	Favorável
Alta Floresta-MT	Safra 17/18	5,981	551,666	Favorável
Sinop-MT 1	Safrinha 17/18	4,337	-1092,847	Desfavorável
Sinop-MT 2	Safra 17/18	4,668	-761,458	Desfavorável
Carlinda-MT	Safra 17/18	5,295	-134,541	Desfavorável
Média	-	5,429	-	-

O fato dos ambientes classificados como desfavoráveis apresentarem baixa produtividade, quando comparados aos ambientes favoráveis e a média geral dos ambientes, pode ser explicado tanto pelo período de seca prolongada, quanto ao frequente ataque de pragas sofrido no período de avaliação dos experimentos. Silva et al. (2014) em seus estudos classificaram 48 ambientes entre favoráveis e desfavoráveis e encontraram ambientes com índices ambientais negativos e com menor produtividade, justificando como principal causa a seca prolongada durante o período de avaliação dos genótipos, dados estes semelhantes aos encontrados nesse estudo.

A recomendação dos genótipos quanto ao desempenho em ambiente geral, favorável e desfavorável, foi feita com base no índice de confiança (I_i). Assim, quanto maior esse índice (I_i), maior é a chance de sucesso e a confiabilidade da escolha do genótipo com maior adaptabilidade e estabilidade (Cruz et al., 2014). De acordo com Annicchiarico (2002) o nível de confiança para o seu próprio teste pode variar de 70 até 95% para a agricultura moderna. No entanto, quanto maior o nível de confiança,

mais difícil torna a distinção de genótipos superiores, levando os pesquisadores da área a usarem apenas 75% como nível de confiança no método de Annicchiarico.

Assim, em ambiente geral, indica-se apenas o genótipo 1P2255 como o de melhor adaptação em todos os ambientes avaliados, pois apresentou índice de confiança (I_i), igual a 100%, ou seja, igual a média ambiental, sendo considerado de maior confiabilidade para indicação tanto em ambientes favoráveis, quanto desfavoráveis (Tabela 10). Tais resultados evidenciam que, mesmo cultivado em ambientes distintos e submetidos a diferentes variações edafoclimáticas, esse genótipo manteve-se estável e adaptável quanto a produção de grãos de milho.

Tabela 10. Índices de confiança para ambiente geral (I_{igeral}), favorável (I_{ifav}) e desfavorável ($I_{idesfav}$) proposto por Annicchiarico (1992) para os 36 híbridos simples de milho avaliados em seis ambientes no Norte de Mato Grosso e Sudeste de Rondônia

Annicchiarico (1992)				
Genótipos	Média	(I_{igeral})	(I_{ifav})	($I_{idesfav}$)
DKB310	6,289	87,43	85,03	83,91
1L1411	6,213	80,14	107,28	65,80
1P2247	6,107	94,45	92,78	105,87
1P2255	5,839	100,00	107,96	98,97
1M1782	5,775	67,07	93,25	56,34
1P2215	5,773	82,26	82,76	83,73
1M1807	5,721	74,62	74,24	74,23
1P2214	5,700	86,97	80,45	101,92
1P2267	5,697	88,43	91,57	91,59
1N1958	5,678	87,21	85,01	85,31
DKB390	5,636	80,19	74,21	81,18
1P2184	5,600	86,29	101,76	83,74
1P2231	5,539	93,76	90,29	95,90
1P2237	5,531	73,46	83,55	68,78
1P2203	5,506	88,82	83,92	91,52
1P2212	5,506	88,39	89,63	84,73
1O2112	5,487	89,00	97,08	81,83
1O2106	5,431	76,49	82,59	67,53
1M1810	5,394	79,45	76,56	81,46
BRS3042	5,386	81,52	97,93	74,28
1O2008	5,376	69,30	91,00	56,46
1P2216	5,338	78,28	75,34	82,07
1O2073	5,288	68,36	91,00	50,52
1M1804	5,270	82,50	80,77	83,35
1P2193	5,257	75,15	84,79	69,73
1F640	5,238	73,83	94,42	60,03
1O2034	5,210	53,03	89,24	27,92
1M1752	5,195	75,97	88,82	65,45
1P2224	5,164	67,60	86,37	51,74
1N1906	5,061	74,77	83,29	65,84
1O2018	5,034	73,79	83,08	64,28
1P2175	5,030	76,52	72,66	76,91
1P2188	4,980	77,49	69,59	88,78
1P2273	4,927	67,57	84,22	55,14
1P2265	4,681	55,25	95,33	44,85
1P2227	4,635	45,67	91,23	28,49

Quanto a estabilidade e adaptabilidade dos genótipos em ambientes favoráveis, destacaram-se os genótipos 1L1411, 1P2184 e 1P2255 com índice de confiança maior que 100%. Assim, podemos afirmar com 75% de confiança que esses genótipos são 7,28, 9,96 e 1,76%, respectivamente superiores à média dos ambientes (Tabela 10). Esses resultados também demonstram que esses genótipos são responsivos à melhora das condições ambientais. Por outro lado, no extremo oposto, o genótipo 1P2188 apresentou o menor índice de confiabilidade, com 30,41% inferior à média dos genótipos.

Em ambientes desfavoráveis, o método de Annicchiarico (1992), indicou o genótipo superior 1P2214 como o mais estável e adaptável, com índice de confiabilidade superior a 100%, revelando que esse genótipo se manteve com bons níveis de produtividade mesmo em ambientes que não propiciaram condições favoráveis, e devem ser recomendados para áreas com menores investimentos e de baixo nível tecnológico, onde o produtor mantém bons níveis de produtividade sem o aumento substancial no seu custo de produção. Esses resultados exaltam o genótipo 1P2214, pelo fato de ser um híbrido intermediário e apresentar alto potencial produtivo em ambientes desfavoráveis de cultivo quando comparado às testemunhas.

No presente trabalho, também foram identificados híbridos com produtividades semelhantes ou superiores as testemunhas, o que representa um avanço na pesquisa de melhoramento, com possibilidade de liberação de cultivares mais produtivas para ambientes diversos.

A metodologia de Annicchiarico (1992) também foi utilizada por vários autores em estudos de estabilidade e adaptabilidade para a cultura do milho. Nos estudos de Schmildt & Cruz (2005), os autores avaliaram diferentes métodos de estabilidade em milho e concluíram que o método Annicchiarico foi mais confiável do que a metodologia de Eberhart & Russell (1966), por ser de fácil interpretação dos resultados, preciso na indicação das cultivares e por apresentar apenas um parâmetro de interpretação, enquanto Eberhart & Russell utilizam quatro parâmetros.

Silva et al. (2017) utilizaram a metodologia de Annicchiarico (1992) na avaliação da produtividade e a estabilidade de 14 híbridos *topcrosses* de milho, com objetivo de selecionar híbridos superiores e/ou linhagens parcialmente endogâmicas e conseguiram indicar com precisão os genótipos mais estáveis e adaptáveis. Santos et al. (2019) utilizaram esse método juntamente com os métodos de Lin & Binns (1988),

e AMMI, no estudo da estabilidade de 12 híbridos de milho em 80 ambientes no estado de Minas Gerais e Goiás, e encontraram resultados satisfatórios quanto a indicação de cultivares promissoras.

Metodologia de Lin & Binns (1988)

Na Tabela 11 são apresentadas as médias de produtividade de grãos, índice de estabilidade em ambiente geral (Pi geral), índice de estabilidade para ambientes favoráveis (Pi fav.), e índice de estabilidade para ambientes desfavoráveis (Pi desfav.), obtidas pelo método Lin & Binns (1988).

Tabela 11. Índice de estabilidade para ambiente (Pi geral), favorável (Pi fav.) e desfavorável (Pi desf.), propostos por Lin & Binns (1988) para os 36 híbridos simples de milho avaliados em 6 ambientes no Norte de Mato Grosso e Sudeste de Rondônia

Lin & Binns (1988)						
Genótipos	Média	Pi geral	Genótipos	(Pi fav.)	Genótipos	(Pi desf.)
DKB310	6,289	519703.7	DKB310	277592	1P2247	541099
1P2247	6,107	521434.5	1P2255	364242	1L1411	704070
1L1411	6,213	539030.5	1L1411	373991	DKB310	761816
1P2215	5,773	959599.0	1P2237	404577	1P2215	762587
1P2267	5,697	981036.5	1P2184	462217	1M1807	897699
1M1782	5,775	999558.1	1P2247	501770	1P2267	917549
1P2255	5,839	1012410.6	BRS3042	724764	1M1782	979892
1N1958	5,678	1202037.7	1O2112	743429	1P2214	991934
1P2231	5,539	1221614.8	1P2231	809921	1P2216	1424874
1P2214	5,700	1223575.9	1P2203	815914	1N1958	1458912
1P2203	5,506	1252594.0	1N1958	945163	1P2231	1633308
1M1807	5,721	1255554.0	1M1752	949296	1P2255	1660579
1P2184	5,600	1453014.8	1O2073	996607	1O2008	1674394
1P2216	5,338	1469283.1	1P2212	1004925	1P2203	1689274
DKB390	5,636	1490234.7	1M1782	1019224	1P2193	1723223
1O2112	5,487	1499889.6	1P2267	1044524	1M1804	1744094
1O2008	5,376	1521511.6	DKB390	1081981	DKB390	1898488
1P2212	5506	1594079.7	1P2265	1121704	1M1810	1918017
1P2237	5,531	1594701.1	1P2227	1125782	1P2212	2183235
1M1804	5,270	1704113.6	1P2215	1156611	1O2112	2256350
1P2193	5,257	1724891.0	1F640	1189792	1P2188	2320689
1M1810	5,394	1840807.4	1O2034	1200322	1P2184	2443813
BRS3042	5,386	1853491.9	1P2273	1352275	1O2106	2541418
1O2106	5,431	1948911.9	1O2106	1356406	1P2237	2784825
1M1752	5,195	2118760.9	1O2008	1368630	1P2175	2802214
1O2034	5,210	2128221.9	1P2224	1421553	BRS3042	2982220
1F640	5,238	2150715.0	1P2214	1455218	1O2034	3056122
1P2175	5,030	2286256.2	1P2216	1513693	1N1906	3103854
1P2188	4,980	2287760.5	1M1807	1613409	1F640	3111638
1O2073	5,288	2335335.6	1O2018	1627678	1M1752	3288225
1N1906	5,061	2418681.0	1M1804	1664134	1O2018	3438814
1P2224	5,164	2495163.0	1P2193	1726559	1P2224	3568773
1O2018	5,034	2533246.1	1N1906	1733508	1O2073	3674064
1P2273	4,927	2762661.1	1M1810	1763598	1P2273	4173047
1P2265	4,681	3524442.8	1P2175	1770298	1P2265	5927182
1P2227	4,635	3985743.6	1P2188	2254832	1P2227	6845706

Por meio do método Lin & Binns (1988), a identificação dos genótipos mais adaptáveis/estáveis foi realizada com base na estatística P_i , onde genótipos com índice baixo de P_i em ambiente geral, sugerem que os genótipos apresentam adaptabilidade em todos os ambientes, genótipos com índice baixo de P_i favoráveis, sugerem que os mesmos possuam adaptação a ambientes favoráveis e genótipos com índice baixo de P_i em ambiente desfavorável adaptação em ambientes desfavoráveis.

Assim, os genótipos mais estáveis em ambiente geral foram: DKB310, 1P2247, 1L1411, 1P2215, 1P2267, 1M1782 e 1P2255, sendo estes considerados os genótipos ideais por esse método, pois apresentaram menores valores de P_i geral. Verificou-se também que esses genótipos apresentaram desempenho superior de produtividade de grãos em relação a média geral, sendo portanto, cultivares favoráveis e candidatos à futuras recomendações para as regiões avaliadas neste estudo.

Esses resultados são explicados por Cruz & Carneiro (2006), pela forma como é estimado o índice de estabilidade P_i , que é o desvio do cultivar i em relação ao material de desempenho máximo em cada ambiente, desta maneira, quanto menor o valor de P_i , mais próximos os genótipos estão da máxima produtividade. Cargnelutti Filho et al. (2007) afirmaram que genótipos indicados pelo método Lin & Binns (1988), são normalmente associados a alta produtividade e baixa previsibilidade.

Em ambientes favoráveis, os genótipos que mais se destacaram foram: DKB310, 1P2255, 1L1411, 1P2237, 1P2184, 1P2247, BRS3042, 1O2112, 1P2231, 1P2203, 1N1958, 1M1752 e 1O2073, sendo, portanto, recomendados para regiões favoráveis de cultivos. Já os genótipos mais adaptáveis a ambientes desfavoráveis foram: 1P2247, 1L1411, DKB310, 1P2215, 1M1807, 1P2267, 1M1782 e 1P2214.

Observa-se que os sete genótipos citados em ambiente geral apresentaram estabilidade e previsibilidade em relação as testemunhas comerciais BRS3042 e IF640. Dos 13 genótipos considerados mais estáveis em ambientes favoráveis, onze são híbridos elite e duas são testemunhas. Já nos ambientes desfavoráveis, dos oito genótipos considerados estáveis, sete são híbridos elite, e uma testemunha. Em relação as duas testemunhas avaliadas nesse estudo, DKB310 apresentou comportamento estável em ambientes geral e desfavorável, já em ambiente desfavorável, BRS3042 apresentou comportamento estável.

Metodologia de Eberhart & Russell (1966)

Na Figura 1 está apresentada a regressão linear obtida pela metodologia de Eberhart & Russell (1966), com os valores de índice ambiental, coeficiente de determinação (R^2), produtividade de grãos, bem como a classificação dos ambientes em favoráveis e desfavoráveis para cultivo. Por meio desta metodologia, os ambientes são classificados como favoráveis quando apresentarem maior média produtividade associados a índices ambientais positivos, e os ambientes são desfavoráveis quando apresentarem menor média de produtividade e índices ambientais negativos.

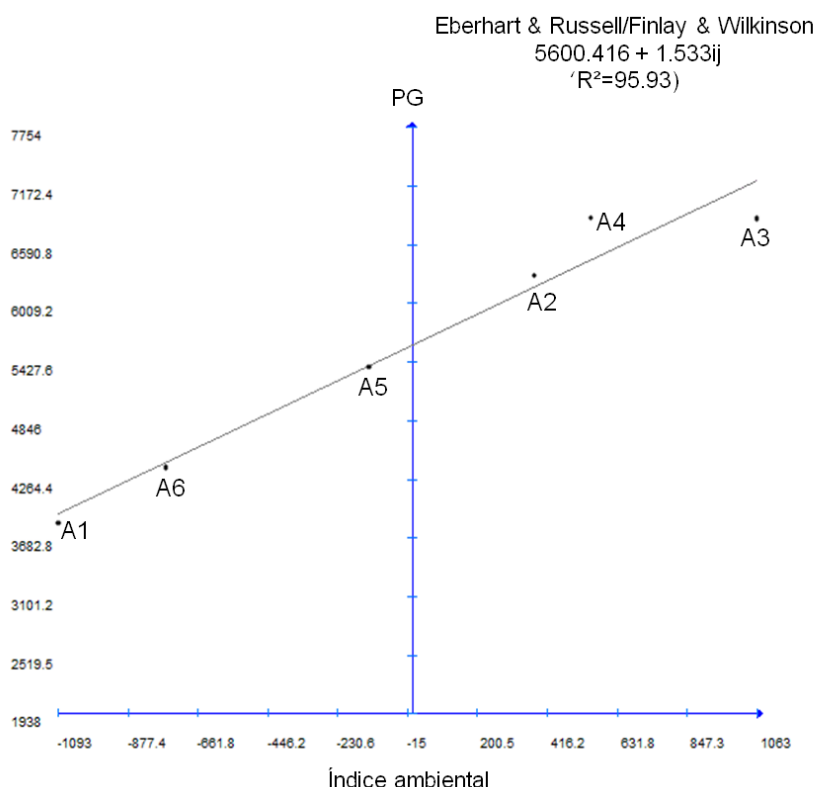


Figura 1. Regressão linear pelo método Eberhart & Russel (1966) com a classificação dos seis ambientes em favorável e desfavorável.

O valor de coeficiente de determinação calculado pela equação de regressão foi superior a 95,93%, suficiente para classificar os ambientes em favorável e desfavorável (Figura 1). Em relação a classificação dos ambientes em favorável e desfavorável, os ambientes de Sinop-MT 1 (A1), Sinop-MT 2 (A6) e Carlinda-MT (A5) foram considerados desfavoráveis, pois apresentaram índice ambiental negativo, e médias inferiores à média geral, ou seja, proporcionaram uma diminuição das médias de produção dos genótipos menor que a média geral de todos os experimentos, resultando em índices ambientais negativos (Figura 1). Já os ambientes de Vilhena-

RO (A2), Sorriso-MT (A3) e Alta Floresta-MT (A4) possibilitaram média de produção dos genótipos maior que a média geral de todos os ensaios, resultando, portanto em índices ambientais positivos, sendo classificados como ambientes favoráveis.

Pelo método de Eberhart & Russell (1966), os parâmetros considerados na avaliação individual dos genótipos foram produtividade média (β_0), coeficiente de regressão linear (β_{1i}), o desvio da regressão (σ^2_d) e coeficiente de determinação (R^2), encontram-se apresentados na Tabela 12.

Tabela 12. Parâmetros de adaptabilidade e estabilidade de acordo com método proposto por Eberhart & Russell (1966) para os 36 híbridos simples de milho avaliados em 6 ambientes no Norte de Mato Grosso e Sudeste de Rondônia

Genótipos	Eberhart & Russell (1966)			
	(β_0)	($\beta_{1i}=1$)	(σ^2_d)	(R^2)
1L1411	6,213	0,883**	960704,35**	36,22
1M1804	5,270	0,869ns	72573,784ns	70,39
1M1810	5,394	1,003**	357337,7*	60,52
1M1807	5,721	0,756**	881182,82**	30,92
1M1782	5,775	0,428**	1198537,5**	9,96
1N1958	5,678	1,063ns	255731,29*	67,86
1O2034	5,210	0,508**	1890874,1**	9,45
1O2106	5,431	1,278*	409045,52*	69,49
1O2112	5,487	1,052ns	-48161,03ns	86,4
DKB310	6,289	0,502**	635463,64*	20,32
1O2073	5,288	1,365**	536412,98*	68,19
1O2008	5,376	0,803**	665389,12**	38,66
1O2018	5,034	1,299ns	85112,301ns	83,55
1P2224	5,164	1,308**	514205,34*	67,02
1P2227	4,635	1,867**	671077,58*	77,22
1N1906	5,061	0,896ns	174763,4**	64,66
1P2216	5,338	0,567ns	216249,66*	39,71
DKB390	5,636	0,707**	582900,82*	35,16
1P2193	5,257	0,566ns	241674,09*	38,24
1P2237	5,531	1,529**	502348,56ns	73,86
1P2203	5,506	0,891ns	36659,877ns	74,3
BRS3042	5,386	1,392ns	38675,804ns	87,48
1P2184	5,600	1,534ns	-110808,6ns	95,94
1P2175	5,030	0,979ns	172023,45*	68,75
1P2214	5,700	0,792ns	233275,67*	55,23
1P2188	4,980	0,531ns	53495,115*	48,93
1P2212	5,506	1,192ns	-12053,4ns	86,76
1P2273	4,927	1,426ns	157091,6ns	82,95
1M1752	5,195	1,312ns	112916,58ns	82,49
1P2255	5,839	1,301ns	-163753,9ns	97,87
1P2265	4,681	1,655*	331985,96*	81,41
1P2247	6,107	0,664ns	121574,13*	53,99
1F640	5,238	0,998*	308597,75*	62,5
1P2231	5,539	0,854ns	-100776,1ns	86,75
1P2267	5,697	0,762ns	73060,589*	64,61
1P2215	5,773	0,459*	302134,04**	26,31

Pela metodologia de Eberhart & Russell (1966), o efeito do ambiente pode ser obtido em dois componentes, um linear e outro não-linear. Associado ao componente linear, encontra-se o coeficiente de regressão (β_{1i}), este indica a adaptabilidade do

genótipo, ou seja, a capacidade do genótipo de responder a melhoria do ambiente. Assim, as estimativas não significativas indicam que o genótipo apresenta adaptabilidade geral, enquanto que as estimativas significativas maiores e menores que as unidades sugerem que o genótipo indica adaptação a ambientes favoráveis ou desfavoráveis, respectivamente.

Já os desvios da regressão (σ^2_d) estão associados ao componente não-linear e indicam a estabilidade do genótipo, a qual está relacionada à previsibilidade de comportamento perante as variações ambientais entre os locais de cultivo. As estimativas não significativas de desvios da regressão indicam que o genótipo apresenta alta estabilidade de comportamento, característica que é reforçada quando o mesmo apresenta altos valores de coeficiente de determinação (R^2). De acordo com as estimativas dos coeficientes de regressão, parâmetro relacionado à adaptabilidade, 55.55% dos genótipos não diferiram significativamente da unidade ($\beta_{1i}=1$), ou seja, estimativas não significativas indicando que a maioria dos híbridos apresentam adaptabilidade geral, evidenciando que os mesmos se destacaram tanto em ambientes favoráveis quanto desfavoráveis (Tabela 12). Em relação a indicação de genótipos com adaptabilidade específica a ambientes favoráveis, ou seja, com coeficiente de regressão maior que um ($\beta_{1i}>1$), que apresentaram estimativas significativas maiores, foram os genótipos IM1810, 102106, 1O2073, 1P2227, 1P2224, 1P2237 e P2265, evidenciando que esses genótipos responderam favoravelmente as melhorias do ambiente. Os genótipos 1M1807, 1M1782, 102034, DKB310, 1O2008, BKB390, 1F640 e 1P2215 foram os que apresentaram coeficiente de regressão estatisticamente inferior a um ($\beta_{1i}<1$) e apresentaram estimativas significativamente menores, sendo considerados genótipos adaptáveis a ambientes desfavoráveis por não apresentarem aumento na produtividade de grãos com a melhoria do ambiente, portanto podem ser recomendados para regiões com baixo investimento e de menor nível tecnológico.

A metodologia de Eberhart & Russell (1966) também foi utilizada para saber qual o genótipo ideal, ou seja, aquele com altas médias de produtividade de grãos, adaptabilidade ampla ($\beta_{1i}=1$) e alta estabilidade, ou seja, desvios da regressão não significativos associados a altos valores de coeficiente de determinação (Cruz et al., 2012). De tal modo, os genótipos considerados ideais segundo esta metodologia foram os híbridos 1O2112, 1P2203, 1P2184, 1P2212, 1P2255 e 1P2231, os quais

apresentaram médias de produtividade de grãos elevadas na maioria dos ambientes, coeficientes de regressão igual a unidade e desvios da regressão não significativos, além de altos valores de coeficiente de determinação (Tabela 12).

Metodologia AMMI

Analisando a decomposição da interação GXA dos experimentos por meio do método AMMI, constatou-se que apenas os dois primeiros componentes principais (CP1 e CP2) foram significativos a 1 e 5% de acordo com o teste F (Tabela 13). O CP1 explicou 52,1% da variação da $SQ_{(GXA)}$ com 39 graus de liberdade e o CP2 explicou 39,7% da variação da $SQ_{(GXA)}$ com 37 graus de liberdade. Acumulados, os dois componentes (CP1 e CP2) explicaram 91,8%, sendo suficientes para avaliar a estabilidade e adaptabilidade dos genótipos, bem como o efeito da interação GXA pelo método AMMI.

Tabela 13. Decomposição em valores singulares aplicada a matriz de interação GXA decomposta em cinco componentes principais

CP	GL	SQ	QM	Explicado	Acumulado	F	P
CP1	39	50052155	1283388,6**	52,16	52,15	3,937	0,000
CP2	37	18458328	498873,7*	39,71	91,87	1,530	0,029
CP3	35	12202479	348642,3 ^{ns}	6,67	98,55	1,069	0,369
CP4	33	7083752	214659,1 ^{ns}	3,19	95,35	0,658	0,926
CP5	31	6118425	197368,5 ^{ns}	4,65	100,00	0,605	0,953
Erro	294	95831775	325958,4	-	-		

**e* = significativo 1% e a 5% de probabilidade, ^{ns} = não significativo.

Observa-se que a partir do CP3, os valores aparecem como não significativos, evidenciam a existência de ruídos (variação aleatória não relacionada com o fenômeno da interação), que podem dificultar a interpretação da estabilidade dos genótipos e ambientes na análise gráfica. Estes resultados assemelham-se aos encontrados nos estudos de Hongyu et al., (2015) e Ferreira & Hongyu (2018), onde apenas os dois primeiros componentes foram significativos, e a partir do terceiro componente, obtiveram valores não significativos. Assim, para interpretação gráfica dos resultados, levamos em consideração apenas as variações presentes nos dois primeiros eixos dos componentes principais, que somados explicaram 91,87% da soma dos quadrados de interação GXA.

A característica dos modelos multivariados, incluindo a análise AMMI, é que eles conseguem captar grande parte da variação nos primeiros componentes principais, relegando ao componente subsequente cada vez menos variação e mais

ruído, desta forma, concluímos que a análise gráfica do AMMI biplot será adequada (CROSSA et al.,1990).

A variação explicada pelos dois primeiros componentes principais também foram encontradas por Hongyu et al. (2014) (81,7%) e Rosa et al. (2017) (72,2%), para dados de produtividade de milho avaliados em multi-locais. De acordo com Oliveira et al. (2003), quanto maior a explicação pelos primeiros eixos, maior é a concentração do padrão, e menor é a concentração de ruído na análise AMMI.

Neste estudo, foram utilizados dois gráficos (Figura 2 e 3), biplots (AMMI1 e AMMI2), para analisar a dispersão da variação dos genótipos, ambientes e da interação GXA. O biplot AMMI1 contém a variação dos efeitos aditivos principais de genótipo e ambiente, que podem ser visualizados na horizontal do gráfico, ou seja, nas abscissas, e a variação dos efeitos multiplicativos visualizados na vertical, no eixo das ordenadas. O biplot AMMI2 contém apenas os efeitos multiplicativos da interação GXA presentes nos dois primeiros CPs e dispersos em ambas as coordenadas do gráfico. Portanto, os genótipos e ambientes mais próximos a zero no IPCA1 são os mais estáveis, e os mais distantes de zero são mais adaptados a ambientes específicos e contribuem mais para a interação GXA (Gauch, 2013).

Pela análise do biplot AMMI1 (Figura 2), os genótipos mais estáveis foram: 1P2188 (G26), 1P2203 (G21), 1P2231 (G34), 1N1958 (G6), 1P2214 (G25), 1M1810 (G3), 1P2237 (G20), 1P2184 (G23), 1P2255 (G30), DKB310 (G10) e 1P2247 (G32). Porém, para fins de recomendação de cultivares, além de estáveis, os genótipos também precisam apresentar produtividade alta. Logo, destacam-se como estáveis e com produtividade média acima da média geral, os genótipos 1P2203 (G21), 1P2231 (G34), 1N1958 (G6), 1P2214 (G25), DKB310 (G10), 1P2237 (G20), 1P2184 (G23) e 1P2255 (G30), dessa maneira, estes genótipos podem ser cultivados nos locais onde foram realizados os estudos.

Em relação a estabilidade e adaptabilidade de produção, o genótipo 1P2255 (G30) apresentou o melhor desempenho, como constatado na Figura 1 e 2, portanto, pode ser escolhido para a recomendação. Esse genótipo também se destacou quando avaliado pelas metodologias de Annicchiarico (1992) e AMMI.

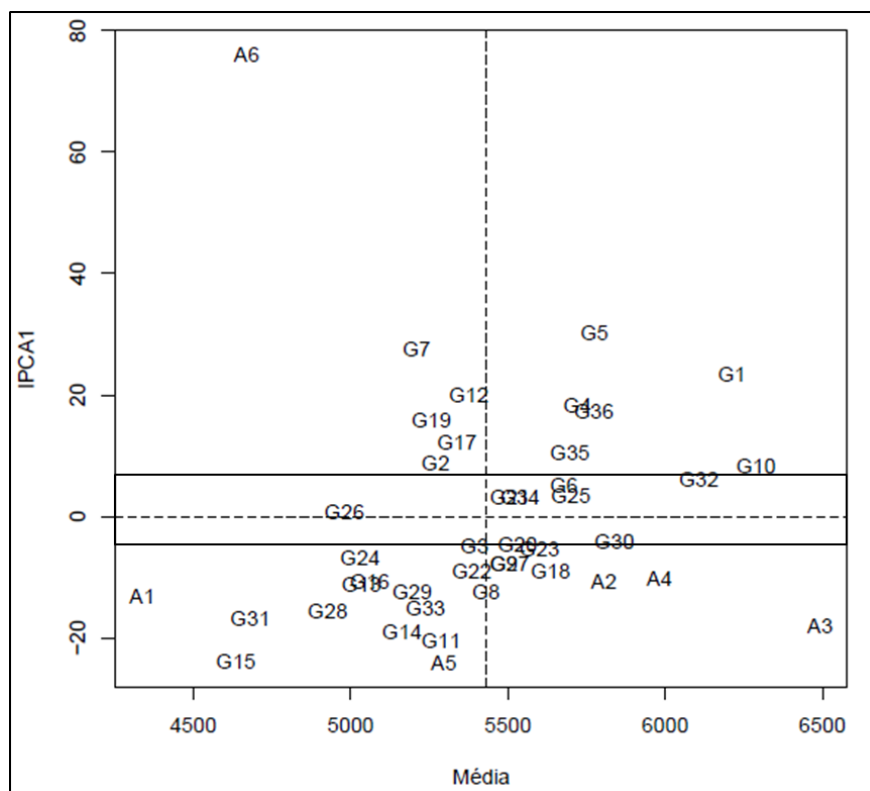


Figura 2. *Biplot* da análise AMMI1 para os dados de produtividade de grãos (ton.ha⁻¹), em milho, com 36 genótipos (G) avaliados em seis ambientes (A).

Dos 36 genótipos avaliados, vinte e seis contribuíram para a interação GXA, por estarem localizados mais distantes da origem do biplot AMMI1 (Figura 2), sendo considerados os mais instáveis, e dez apresentaram escores próximo a zero, contribuindo pouco ou quase nada para a interação, caracterizando-os como estáveis.

Todos os ambientes avaliados encontram-se distantes da origem dos eixos e contribuíram para a interação GXA total (Figura 2 e Figura 3).

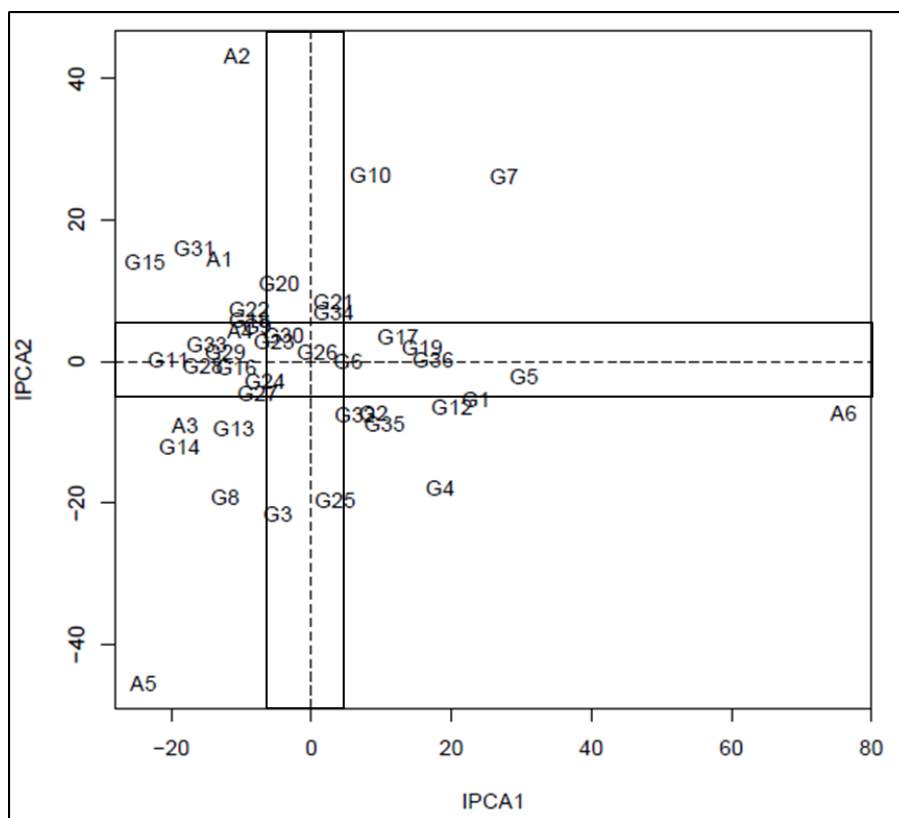


Figura 3. *Biplot* da análise AMMI2 (IPCA1xIPCA2) para os dados de produtividade de grãos (ton.ha⁻¹), em milhos, com 36 genótipos (G) avaliados em seis ambientes (A).

A interpretação da adaptabilidade dos genótipos em cada ambiente de cultivo foi realizada tomando como base os sinais dos escores para híbridos e ambientes. Assim, quando estão afastados da origem e próximos entre si, com escores de mesmo sinal, mostram interação positiva, o que evidencia adaptabilidade específica e indica em qual ambiente genótipos devem ser preferencialmente cultivados (Duarte & Vencovsky, 1999). Isto posto, os genótipos 1P2224 (G14) e 1O2018 (G13) apresentaram adaptabilidade específica ao ambiente de Sorriso (A3), 1P2237 (G20), BRS3042 (G22), 1O2112 (G9), DKB390 (G18), 1P2255 (G30), 1F640 (G33), 1M1752 (G29) e 1P2184 (G23) ao ambiente de Alta Floresta (A4). Dois destes ambientes foram classificados como favoráveis pela metodologia de Annicchiarico (1992) e Eberhart & Russell (1968). Os genótipos 1O2018 (G15) e 1P2224 (G31) apresentaram adaptabilidade específica ao ambiente de Sinop 1 (A1).

Em contrapartida, Vilhena (A2), Carlinda (A5) e Sinop 2 (A6) foram considerados ambientes desfavoráveis, pelo fato de que nenhum genótipo estar posicionado próximo, ou seja, nenhum genótipo sobressaiu em relação aos demais.

Metodologia de modelos mistos REML/Blup

Na Tabela 14 estão apresentadas as estimativas de herdabilidade (h^2), acurácia, coeficiente de variação residual (CV_e) e média geral de produtividade, estimadas pela metodologia de modelos mistos-REML/Blup. A média geral da PG dos genótipos avaliados em seis ambientes foi de 5,432 ton^{-1} . O coeficiente de variação residual (CV_e) foi de 11,76% e a estimativa de acurácia, que mede a correlação entre valores genéticos preditos e valores reais, foi de 61.5%, sendo considerada moderada, permitindo inferir que a precisão experimental foi alta (Resende & Duarte, 2007). Esses resultados indicam relativa facilidade na seleção de cultivares superiores, conforme relatado por Silva et al. (2014) em seus estudos ao avaliar a estabilidade e adaptabilidade de híbridos de milho em diferentes regiões no Brasil.

Tabela 14. Estimativas dos componentes de variância genética para produtividade de grãos ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) para os 36 híbridos comerciais de milho em seis ambientes, obtidos com o uso da metodologia REML/Blup

Parâmetros genéticos e componentes de variância	Estimativas
Herdabilidade (h^2)	0,40
Acurácia	0,615
Correlação genotípica entre os ambientes	0,141
Coeficiente de variação residual (CV_e %)	11,765
Média geral (ton ha^{-1})	5,432

Os valores dos efeitos genotípicos, valores genotípicos preditos ($\mu+g$), ganho genético (%), média geral em $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, considerando os 36 genótipos avaliados em seis ambientes encontram-se apresentados na Tabela 15. Os híbridos DKB310, 1P2247, 1L1411, 1P2255, 1P2215, 1P2214, 1M1782, 1P2267 e 1M1807 apresentaram maior valor genotípico, maior média livre da interação ($\mu+g$) e maiores médias gerais de produtividade. Com destaque, os híbridos da classe dos intermediários (1L1411 e 1P2247, 1M1782, 1P2214, 1P2267, 1M1807) apresentaram valores genotípicos e média geral superiores que as testemunhas BRS3042 e IF640, o que é indicativo de que esses genótipos de milho têm potencial produtivo superior para as condições edafoclimáticas de Mato Grosso e Rondônia. Esses híbridos, além de superar as demais testemunhas, são caracterizados por requererem menores investimento tecnológicos e, assim podem ser uma alternativa de cultivo com boa produtividade para áreas menos tecnificadas.

Tabela 15. Estimativas dos componentes de médias de produtividade de grãos de 36 cultivares de milho (*Zea mays* L.), em seis ambientes

Genótipo	Efeito genotípico	($\mu+g$)	Ganho (%)	Média (t.ha ⁻¹)	($\mu +g+gem$)
DKB310	329,53	5,761	329,53	5,761	6,095
1L1411	289,681	5,721	309,605	5,741	6,015
1P2247	259,152	5,691	292,788	5,725	5,953
1P2255	163,277	5,595	260,410	5,692	5,76
1P2215	128,727	5,561	234,073	5,666	5,691
1M1782	118,806	5,551	214,862	5,647	5,671
1P2214	109,161	5,541	199,762	5,632	5,651
1P2267	99,082	5,531	187,177	5,619	5,631
1M1807	97,720	5,530	177,237	5,609	5,628
DKB390	96,891	5,529	169,203	5,601	5,627
1P2184	84,512	5,516	161,503	5,593	5,602
1N1958	80,896	5,513	154,786	5,587	5,595
1P2237	40,882	5,473	146,024	5,578	5,514
1P2231	37,221	5,469	138,253	5,570	5,507
1P2212	33,210	5,465	131,250	5,563	5,499
1P2203	31,087	5,463	124,990	5,557	5,494
1O2112	16,548	5,448	118,611	5,550	5,465
1O2106	-5,548	5,426	111,713	5,543	5,421
BRS3042	-15,805	5,416	105,001	5,537	5,400
1P2216	-19,314	5,412	98,786	5,531	5,393
1O2008	-26,992	5,405	92,796	5,525	5,377
1M1810	-30,103	5,402	87,210	5,519	5,371
1O2073	-61,323	5,370	80,752	5,513	5,308
1M1804	-62,226	5,370	74,795	5,507	5,307
1P2193	-66,081	5,366	69,160	5,501	5,299
1F640	-80,156	5,352	63,417	5,495	5,271
1P2224	-87,553	5,344	57,825	5,490	5,256
1M1752	-87,941	5,344	52,619	5,484	5,255
1O2034	-91,717	5,340	47,642	5,479	5,247
1N1906	-127,807	5,304	41,794	5,474	5,175
1O2018	-138,22	5,294	35,987	5,468	5,154
1P2175	-154,496	5,277	30,034	5,462	5,121
1P2188	-176,88	5,255	23,764	5,456	5,076
1P2273	-192,627	5,239	17,400	5,449	5,044
1P2227	-293,865	5,138	8,507	5,440	4,841
1P2265	-297,727	5,134	0	5,432	4,833

A metodologia de REML/Blup permite selecionar genótipos promissores com base nos valores de MHVG, PRVG e MHPRVG (Tabela 16).

Tabela 16. Estimativas da estabilidade (MHVG), adaptabilidade (PRVG) e estabilidade e adaptabilidade (MHPRVG) de valores genéticos de 36 cultivares de milho em seis ambientes

Genótipo	MHVG	PRVG	PRVG*MG	MHPRVG	MHPRVG*MG
DKB310	6,018	1,131	6,142	1,121	6,089
1P2247	5,871	1,101	5,983	1,097	5,960
1L1411	5,868	1,110	6,030	1,101	5,979
1P2255	5,623	1,058	5,749	1,058	5,746
1P2215	5,618	1,055	5,730	1,048	5,692
1P2214	5,558	1,044	5,672	1,044	5,647
1M1782	5,556	1,051	5,710	1,038	5,638
1P2267	5,539	1,040	5,650	1,037	5,632
DKB390	5,525	1,040	5,649	1,033	5,613
1M1807	5,502	1,039	5,645	1,031	5,599
1N1958	5,476	1,030	5,595	1,027	5,579
1P2184	5,419	1,026	5,573	1,023	5,560
1P2231	5,413	1,015	5,516	1,015	5,512
1P2203	5,402	1,014	5,507	1,012	5,496
1P2212	5,368	1,011	5,491	1,009	5,481
1O2112	5,340	1,005	5,462	1,003	5,451
1P2216	5,317	0,999	5,426	0,992	5,389
1P2237	5,275	1,008	5,476	0,999	5,428
BRS3042	5,232	0,990	5,378	0,986	5,357
1M1810	5,230	0,988	5,367	0,983	5,339
1O2106	5,230	0,994	5,399	0,986	5,358
1P2193	5,225	0,981	5,331	0,975	5,296
1O2008	5,216	0,991	5,385	0,981	5,327
1M1804	5,210	0,979	5,316	0,976	5,304
1F640	5,116	0,970	5,268	0,962	5,226
1O2073	5,079	0,973	5,283	0,959	5,211
1M1752	5,076	0,963	5,230	0,958	5,206
1O2034	5,065	0,972	5,281	0,946	5,136
1N1906	5,062	0,953	5,179	0,950	5,16
1P2224	5,060	0,963	5,233	0,955	5,188
1P2188	5,006	0,939	5,099	0,936	5,083
1P2175	4,999	0,942	5,120	0,939	5,100
1O2018	4,983	0,944	5,129	0,941	5,109
1P2273	4,839	0,922	5,009	0,915	4,973
1P2265	4,544	0,879	4,776	0,864	4,693
1P2227	4,496	0,879	4,775	0,857	4,653

A MHVG diz respeito a média harmônica dos valores genotípicos que implica simultaneamente seleção para produtividade e estabilidade. O PRVG diz respeito ao desempenho relativo dos valores genotípicos que implica na seleção com base na adaptabilidade dos genótipos e a MHPRVG, que se refere a média harmônica do desempenho relativo dos valores genéticos preditos que permite selecionar simultaneamente pelos três atributos.

Observa-se que houve concordância na classificação da maioria dos genótipos, com base em MHVG, PRVG, MHPRVG e no rendimento médio, como mostra os dados apresentados na Tabela 16.

Em relação à seleção para produtividade e estabilidade, indicados pelo MHVG, os híbridos DKB310, 1P2247, 1L1411, 1P2255, 1P2215, 1P2214, 1M1782, 1P2267,

DKB390, 1M1807 e 1N1958 apresentaram melhor estabilidade aos ambientes estudados. Esses híbridos também apresentaram resultados superiores quanto ao valor genotípico, média livre da interação ($\mu+g$) e médias gerais, que é um indicativo de que esses híbridos apresentaram maior estabilidade aos ambientes avaliados, além de boa previsibilidade, como Maia et al. (2009) enfatizam em seus estudos. Estes resultados corroboram com os encontrados por Mendes (2012) e Oliveira et al. (2017), que encontraram manutenção do ranqueamento de híbridos de milho por esses métodos.

A seleção simultânea quanto a produtividade, a estabilidade e a adaptabilidade, estimada pelo método MHPRVG, mostrou-se adequada para o milho selecionando os genótipos DKB310, 1P2247, 1L1411, 1P2255, 1P2215, 1P2214, 1M1782, 1P2267, DKB390, 1M1807, 1N1958, 1P2184, 1P2231, 1P2203, 1P2212 e 1O2112 como os mais estáveis e adaptáveis pelo critério de produtividade média (Tabela 15), mostrando-se um método eficiente para utilização em programas de melhoramento de milho conforme relatam Mendes et al. (2012) em seus estudos, pois apresenta a vantagem de fornecer resultados na própria escala e medição do caráter, os quais podem ser interpretados diretamente como valores genéticos para o caráter avaliado.

Dos 16 híbridos classificados como estáveis e adaptáveis, vários apresentaram desempenho produtivo igual ou superior a algumas testemunhas, como é o caso do híbrido 1O2112, que apresentou produtividade superior as testemunhas BRS3042 e 1F640, o que evidencia o potencial produtivo desses híbridos e uma alternativa para serem cultivados nos ambientes estudados.

Houve concordância na seleção de híbridos pelas cinco metodologias utilizadas. Dentre os híbridos mais produtivos, estáveis e de ampla adaptabilidade, recomendados pela metodologia REML/Blup, destaca-se 1P2255, que também foi selecionado pelas metodologias de Annicchiarico, Lin & Binns, Eberhart & Russell, AMMI. Vasconcelos et al. (2015), ressaltam que a utilização de mais de um método para estimação dos parâmetros genéticos pelos melhoristas é uma estratégia que permite maior confiabilidade na interpretação dos dados para posterior recomendação de cultivares superiores para uma determinada região.

CONCLUSÕES

De acordo com a metodologia de Annicchiarico (1992) e Eberhart & Russell (1966) os ambientes de Vilhena-RO, Sorriso-MT e Alta Floresta-MT foram os ambientes favoráveis de cultivo e que apresentaram produtividade de grãos elevada, sendo, portanto, considerados ambientes ideais de cultivo.

A metodologia de Annicchiarico (1992) indicou o genótipo 1P2255 com adaptabilidade a ambiente geral. Os genótipos 1L1411, 1P2184 e 1P2255 como de adaptabilidade específica a ambientes favoráveis, e o 1P2214 adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis.

O método de Lin & Binns (1988) revelou os genótipos DKB310, 1P2247, 1L1411, 1P2215, 1P2267, 1M1782 e 1P2255 apresentaram adaptabilidade a ambientes gerais. Enquanto os híbridos DKB310, 1P2255, 1L1411, 1P2237, 1P2184, 1P2247, BRS3042, 1O2112, 1P2231, 1P2203, 1N1958, 1M1752 e 1O2073 apresentaram adaptabilidade a ambientes favoráveis, e os genótipos 1P2247, 1L1411, DKB310, 1P2215, 1M1807, 1P2267, 1M1782 e 1P2214 se mostraram adaptáveis a ambientes desfavoráveis.

Pelo método Eberhart & Russel (1966), os genótipos ideais com altas médias de produtividade de grãos, adaptabilidade ampla, e alta estabilidade foram: 1O2112, 1P2203, 1P2184, 1P2212, 1P2255 e 1P2231.

O método AMMI apontou o genótipo 1P2255 como mais produtivo e também mais adaptado e estável para as regiões avaliadas.

A metodologia de modelos mistos REML/Blup indicou os genótipos DKB310, 1P2247, 1L1411, 1P2255, 1P2215, 1P2214, 1M1782, 1P2267, DKB390, 1M1807, 1N1958, 1P2184 e 1P2231 como mais estáveis, adaptáveis e com melhores desempenhos produtivos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARAL, C. B.; MÔRO, G. V. Estabilidade e adaptabilidade do florescimento em variedades de milho. **Ciência & Tecnologia**. 9:1-5, 2017.
- ANNICCHIARICO, P. Cultivar adaptation and recommendation from alfafa trials in Northern Italy. **Journal of Genetics and Breeding**. 46:269-278, 1992.
- ARAÚJO, M. F. C ; ARAÚJO, L. B. ; FARIA, P. N ; DIAS, C. T. S. Statistical test for genotype and environment contribution in the genotypes $\times$ environments interaction matrix. **Interciencia Caracas**. 37:515-519, 2012.
- CARGNELUTTI FILHO, A.; STORCK, L. Estatísticas de avaliação da precisão experimental em ensaios de cultivares de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 42:17-24, 2007.
- CARVALHO, H. W. L.; SANTOS, M. X.; LEAL, M. L.S.; PACHECO, C. A. P.; CARDOSO, M. J.; MONTEIRO, A. A. T. Adaptabilidade e estabilidade de produção de cultivares de milho no Nordeste Brasileiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 34:1581-1591, 1999.
- CROSSA, J.; GAUCH JUNIOR, H.G.; ZOBEL, R.W. Additive main effects and multiplicative interaction analysis of two international maize cultivar trials. **Crop Science**. 30:493-500, 1990.
- CRUZ, C.D.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 2003. v. 2, 585 p.
- CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3. ed. Viçosa, MG: UFV, 2014. v. 2, 668 p.
- CRUZ, C. D. Genes Software – extended and integrated with the R, Matlab and Selegen. **Acta Scientiarum**. 38:547-552, 2016.
- EBERHART, S. A.; RUSSELL, W. A. Stability parameters for comparing varieties. **Crop Science**. 6:36-40, 1966.
- FERREIRA, A. A.; HONGYU, K. Avaliação de rendimento de genótipo de milho em multi-ambientes. **Biodiversidade**. 17:16-26, 2018.
- GAUCH, H. G. A Simple Protocol for AMMI Analysis of Yield Trials. **Crop Science**. 53:1860-1869, 2013.

- HONGYU, K.; GARCIA-PENÑA, M.; ARAÚJO, L.B.; DIAS, C.T.S. Statistical analysis of yield trials by AMMI analysis of genotype $\times$ environment interaction. **Biometrical Letters**. 51:89-102, 2014.
- HONGYU, K.; SILVA, F.S; OLIVEIRA, A. C. S.; SARTI, D.A; ARAUJO, L.B; DIAS, C. T. S. Comparação Entre Modelos AMMI e GGE biplot Para os Dados de Ensaio Multi-Ambientes. **Revista Brasileira Biomass**. 33:139-155, 2015.
- LIN, C. S.; BINNS, M. R. A superiority measure of cultivar performance for cultivar $\times$ location data. **Canadian Journal of Plant Science**. 68:193-198, 1988.
- MAIA, M. C. C.; RESENDE, M. D.V.; PAIVA, J. R.; CAVALCANTI, J. J. V.; BARROS, L. M. Seleção simultânea para produção, adaptabilidade e estabilidade genotípicas em clones de cajueiro, via modelos mistos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. 39:43-50, 2009.
- MENDES, F. F.; GUIMARÃES, L. J. M.; SOUZA, J. C.; GUIMARÃES, P. E. O.; PACHECO, C. A. P.; MACHADO, J. R. A.; MEIRELLES, W. F.; SILVA, A. R. da; PARENTONI, S.N. Adaptability and stability of maize varieties using mixed model methodology. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**. 12:111-117, 2012.
- PASSATO-JUNIOR, O.; FARIA, M. M. V.; BATTISTELLI, G. M.; ROSSI, E. S.; MARCK, D. F.; SILVA, C. A.; GABRIEL, A.; ELIZA, G. Avaliação de linhagens S2 de milho em *topcrosses* com linhagem-elite testadora. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**. 16:297-309, 2017.
- RESENDE, M. D. V.; DUARTE, J. B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. 37:18-194, 2007.
- RESENDE, M. D. V. Software Selegen-REML/BLUP: a useful tool for plant breeding. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**. 16:330-339, 2016.
- ROCHA, M. M.; FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; CARVALHO, H. W. L.; BELARMINO FILHO, J.; RAPOSO, J. A. A.; ALCÂNTARA, J. P.; RAMOS, S. R. R.; MACHADO, C. F. Adaptabilidade e estabilidade produtiva de genótipos de feijão-caupi de porte semi-ereto na Região Nordeste do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 42:1283-1289, 2007.

- ROSA, G. F. OLIVEIRA, D. A.; SILVA, F. L.; SEGRI, N. J.; HONGYU, K. Verificação da adaptabilidade e estabilidade em milhos pelo método AMMI. **Biodiversidade**. 16: 68-81, 2017.
- SCHMILDT, E.R.; CRUZ, C.D.; ZANUNCIO, J.C.; PEREIRA, P.R.G.; FERRÃO, R.G. Avaliação de métodos de correção do estande para estimar a produtividade em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 36:1011-1018, 2001.
- SANTOS, D. C.; NUNES, J. A. R.; LEPRE, A. L. Adaptabilidade e estabilidade de híbridos de milho em ensaios multiambientais não-repetidos. **Revista Ciência Agronômica**. 50:83-89, 2019.
- SCHMILDT, E. R.; CRUZ, C. D. Análise da adaptabilidade e estabilidade do milho pelos métodos de Eberhart & Russell e de Annicchiarico. **Revista Ceres**. 52:45-58, 2005.
- SILVA, P.R.; BISOGNIN, D.A.; LOCATELLI, A.B.; STORCK, L. Adaptability and stability of corn hybrids grown for high grain yield. **Acta Scientiarum. Agronomy**. 36:175-181, 2014.
- SILVA, C. A.; FARIA, M. V.; ROSSI, E. S.; POSSATTO JÚNIOR, O.; BATTISTELLI, G. M.; GABRIEL, A.; MARCK, D. F. Performance and stability of maize topcross hybrids from partly inbred lines. **Semina: Ciências Agrárias**. 38:2899-2908, 2017.
- STURION, J. A.; RESENDE, M. D. V. Seleção de progênies de ervamate (*Ilex paraguarensis* St. Hil.) para produtividade, estabilidade e adaptabilidade temporal de massa foliar. **Boletim de Pesquisa Florestal**. 1:37-51, 2005.
- VASCONCELOS, E.; REIS, M. S.; SEDIYAMA, T.; CRUZ, C. D. Produtividade de grãos, adaptabilidade e estabilidade de genótipos de soja de ciclos precoce e médio. **Semina**. 36:1203-1214, 2015
- ZOBEL, R. W.; MADISON, J. W.; GAUCH, H. G. Statistical analysis of a yield trial. **Agronomy Journal**. 80:388-393, 1988.

5. CONCLUSÕES GERAIS

Houve interação significativa para genótipos e interação GXA e predominância da interação complexa.

Os resultados deste estudo permitem recomendar os híbridos 1P2255, 1P2215, 1L1411 e 1P2247 como futuros candidatos a lançamento, tiveram ótimo desempenho produtivo e alta adaptabilidade e estabilidade para cultivo.

Recomenda-se para ambientes com baixos investimentos tecnológicos, os híbridos 1P2247, 1P2214, 1P2215, 1M1807, 1M1782 e 1O2034.

As testemunhas BRS3041 e IF640 não apresentaram desempenhos produtivos satisfatórios nos ambientes de Mato Grosso e Rondônia. Em contrapartida as testemunhas DKB310 e DKB390 foram as mais produtivas com média de produtividade superior à média geral.

A metodologia de modelos mistos REML/Blup permite identificar um maior número de genótipos estáveis/adaptáveis e com alta produtividade, além de ser uma medida viável para comparação de genótipos avaliados em vários ambientes.