



ÁLVARO DE OLIVEIRA SANTOS

**ÍNDICES DE TOLERÂNCIA E ABORDAGEM
FATORIAL ANALÍTICO NO ESTUDO DO
DÉFICIT HÍDRICO EM MILHO**

LAVRAS - MG

2016

ÁLVARO DE OLIVEIRA SANTOS

**ÍNDICES DE TOLERÂNCIA E ABORDAGEM FATORIAL ANALÍTICO
NO ESTUDO DO DÉFICIT HÍDRICO EM MILHO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia / Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Doutor.

Prof. Dr. Renzo Garcia Von Pinho

Orientador

LAVRAS - MG

2016

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Santos, Álvaro de Oliveira.

Índices de tolerância e abordagem fatorial analítico no estudo do
déficit hídrico em milho / Álvaro de Oliveira Santos. – Lavras :
UFLA, 2016.

116 p. : il.

Tese(doutorado)–Universidade Federal de Lavras, 2016.

Orientador: Renzo Garcia Von Pinho.

Bibliografia.

1. *Zea mays* 2. Estresse hídrico 3. Índices de resistência 4. Fator
analítico I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

ÁLVARO DE OLIVEIRA SANTOS

**ÍNDICES DE TOLERÂNCIA E ABORDAGEM FATORIAL ANALÍTICO
NO ESTUDO DO DÉFICIT HÍDRICO EM MILHO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia / Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 19 de abril de 2016.

Dr. Lauro José M. Guimarães	EMBRAPA
Prof. Dr. Thiago Correa de Souza	UNIFAL
Prof. Dr. Adriano Teodoro Bruzi	UFLA
Dra. Marcela Pedroso Mendes Resende	UFLA

Prof. Dr. Renzo Garcia Von Pinho
Orientador

**LAVRAS – MG
2016**

*Aos meus pais Silvio e Silvane,
Aos meus irmãos Silvia, Raul e Fábio.*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida e por guiar meus passos.

À minha família, por todo apoio e carinho durante todos os momentos.

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Agricultura pela oportunidade e contribuição para a minha formação.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos para a realização do curso.

Ao professor Dr. Renzo Garcia Von Pinho pela confiança, orientação, conhecimentos transmitidos e bons exemplos profissionais durante toda a minha formação. MUITO OBRIGADO!

Ao Dr. Lauro Guimarães pelo apoio e suporte no desenvolvimento da tese e pela participação como membro na banca de defesa.

À EMBRAPA Milho e Sorgo, pela contribuição nas avaliações e geração dos dados.

À University of Illinois at Urbana-Champaign pela oportunidade de aprimorar meus conhecimentos.

Ao Dr. Fred Below e todo o Crop Physiology Laboratory pelo suporte, amizade e convívio.

Ao Dr. Márcio Balestre pelo apoio nas análises estatísticas, conhecimentos transmitidos e participação como membro na banca de defesa.

Ao Dr. Adriano Bruzi pelas sugestões e participação como membro na banca de defesa.

À Dra. Marcela Mendes pela contribuição e participação como membro da banca de defesa.

Aos amigos Joel Nuvunga e Carlos Pereira pelo auxílio nas análises e interpretação dos resultados.

Ao amigo Luiz Paulo Miranda Pires, pelo convívio e apoio quando da minha ausência em Lavras.

Aos colegas e amigos do Grupo do Milho pelo convívio e amizade durante todos esses anos.

Aos amigos e moradores da república, Helon, Raul, William, Luiz Paulo, Deny, Leandro e João Pedro pelo convívio e apoio.

Aos amigos de Urbana-Champaign pelos momentos.

À Marli, pelo apoio e auxílio durante todas as etapas do curso.

A todos os amigos que fiz durante o curso.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a minha formação profissional e pessoal.

MEUS SINCEROS AGRADECIMENTOS!

RESUMO

O estresse hídrico é o fator abiótico com o maior impacto na redução de produtividade de grãos de milho e a busca por soluções que minimizem esses efeitos tem sido investigada. O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho de híbridos de milho em ambientes com e sem restrição hídrica através de índices de tolerância e abordagem via fator analítico (FA). Foram utilizados 171 híbridos de milho, em ambientes com e sem restrição hídrica, durante vários anos. Foram avaliadas as características de produtividade de grãos potencial (PGp), produtividade de grãos sob estresse hídrico (PGs), florescimento masculino (FM) e feminino (FF), altura de planta (AP) e espiga (AE). Também foram avaliados os índices de susceptibilidade à seca (ISS), de tolerância ao estresse hídrico (TOL), o coeficiente de resistência à seca (CS), o coeficiente de resistência ao estresse hídrico (IRS), índice de tolerância ao estresse hídrico (ITS) e média harmônica (MH). A adapabilidade e estabilidade foram verificadas através de modelo FA dos híbridos. Houve diferença entre os híbridos e ambientes para todas as características avaliadas. Os índices ITS e MH podem ser utilizados na avaliação e identificação de híbridos de milho mais produtivos em ambientes com e sem restrição hídrica. Os híbridos G1, G18 e G35 são os mais estáveis e apresentam potencial para serem utilizados em ambientes com e sem restrição hídrica. Os modelos FA são úteis para avaliação de híbridos avaliados ao longo de vários anos, pois permitem selecionar os melhores híbridos com adaptabilidade e estabilidade específica e ampla e relacionar os híbridos aos seus componentes de produção, além de permitir a identificação de mega ambientes.

Palavras-chave: *Zea mays*. Estresse hídrico. Estabilidade. Multiambientes. Análise de fatores.

ABSTRACT

Water stress is the abiotic factor with the highest impact over the reduction of corn grain productivity. The search for solutions that minimize these effects have been investigated. The objective of this work was to evaluate the performance of corn hybrids in environments with and without water restriction, by means of tolerance indexes and approach via analytical factor (AF). We used 171 corn hybrids, in environments with and without water restriction, during many years. The characteristics of potential grain productivity (PGp), grain productivity under water stress (PGs), male (MF) and female (FF) flowering, plant height (PH) and cob height (CH) were evaluated. The susceptibility to drought index (SDI), water stress tolerance (WST), resistance to drought coefficient (DC), resistance to water stress coefficient (RSC), water stress tolerance index (STI) and harmonic mean (HM) were also evaluated. The adaptability and stability were verified by means of the AF model of the hybrids. There was difference between the hybrids and environments for all evaluated characteristics. The TSI and HM indexes may be used for evaluating and identifying corn hybrids more productive in environments with and without water restriction. Hybrids G1, G18 and G35 were the most stable and presented potential for use in environments with and without water restriction. The AF models are useful for evaluating hybrids over many years, allowing the selection of the best hybrids with adaptability and specific and wide stability and relate the hybrids to its production components, in addition to allowing the identification of mega environments.

Keywords: *Zea mays*. Water stress. Stability. Multienvironments. Factor analysis.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 2

- Figura 1 - Temperatura máxima média (Temp max), temperatura mínima média (Temp min) e precipitação durante os meses de desenvolvimento dos experimentos à nível de campo. UFLA, Lavras, MG, 2016. Fonte: Rede de Dados do INMET (2015) 63
- Figura 2 - Dispersão da produtividade média de grãos (PG) de 86 híbridos de milho em ambientes com e sem restrição hídrica. Fonte: UFLA, 2016. 64

CAPÍTULO 3

- Figura 1 - Precipitação, temperatura máxima média (Temp max) e temperatura mínima média (Temp min), nos meses de maio (M), junho (J), julho (J), agosto (A) e setembro (S) no diferentes anos de avaliação dos híbridos. UFLA, Lavras, MG, 2016.101
- Figura 2 - Cargas e escores fatoriais obtidos na análise multiambientes considerando os ambientes com (A1, A2, A3, A4, A5, A6 e A7) e sem restrição hídrica (A8, A9, A10, A11, A12, A13 e A14) para 15% dos híbridos com maiores e menores AE de acordo com o Fator 1. UFLA, Lavras, MG, 2016.105
- Figura 3 - Cargas e escores fatoriais obtidos na análise multiambientes considerando os ambientes com (A1, A2, A3, A4, A5, A6 e A7) e sem restrição hídrica (A8, A9, A10, A11, A12, A13 e A14) para 15% dos híbridos com maiores e menores AP de acordo com o Fator 1. UFLA, Lavras, MG, 2016.106

- Figura 4 - Cargas e escores fatoriais obtidos na análise multiambiental considerando os ambientes com (A1, A2, A3, A4, A5, A6 e A7) e sem restrição hídrica (A8, A9, A10, A11, A12, A13 e A14) para 15% dos híbridos com maiores e menores FM de acordo com o Fator 1. UFLA, Lavras, MG, 2016.107
- Figura 5 - Cargas e escores fatoriais obtidos na análise multiambiental considerando os ambientes com (A1, A2, A3, A4, A5, A6 e A7) e sem restrição hídrica (A8, A9, A10, A11, A12, A13 e A14) para 15% dos híbridos com maiores e menores FF de acordo com o Fator 1. UFLA, Lavras, MG, 2016.108
- Figura 6 - Cargas e escores fatoriais obtidos na análise multiambiental considerando os ambientes com (A1, A2, A3, A4, A5, A6 e A7) e sem restrição hídrica (A8, A9, A10, A11, A12, A13 e A14) para 15% dos híbridos com maiores e menores PG de acordo com o Fator 1. UFLA, Lavras, MG, 2016.109

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 2

- Tabela 1 - Código e identificação dos híbridos de milho utilizados. UFLA, Lavras, MG, 2016. 65
- Tabela 2 - Resumo do quadro de análise de variância conjunta para as características de florescimento masculino (FM), florescimento feminino (FF), altura de planta (AP), altura de espiga (AE) e produtividade de grãos (PG), de 86 híbridos de milho, em ambientes com (A1) e sem (A2) restrição hídrica. UFLA, Lavras, MG, 2016. 66
- Tabela 3 - Resumo do quadro de análise de variância para o Índice de susceptibilidade à seca (ISS), tolerância ao estresse hídrico (TOL), coeficiente de resistência à seca (CS), índice de resistência ao estresse hídrico (IRS), índice de tolerância ao estresse hídrico (ITS) e média harmônica (MH) de 86 híbridos de milho. UFLA, Lavras, MG, 2016. 66
- Tabela 4 - Altura de Planta (AP) e altura de espiga (AE) de 86 híbridos de milho, em ambientes com (A1) e sem (A2) restrição hídrica. UFLA, Lavras, MG, 2016. (continua) 67
- Tabela 5 - Florescimento masculino (FM) e feminino (FF), produtividade de grãos (PG) e porcentagem de redução (%Red) de 86 híbridos de milho, em ambientes com (A1) e sem (A2) restrição hídrica. UFLA, Lavras, MG, 2016. (continua) 70
- Tabela 6 - Índice de susceptibilidade à seca (ISS), tolerância ao estresse hídrico (TOL), coeficiente de resistência à seca (CS), índice de resistência ao estresse hídrico (IRS), índice de tolerância ao estresse hídrico (ITS) e média harmônica (MH) de 86

híbridos de milho. UFLA, Lavras, MG, 2016. (continua).....	73
Tabela 7 - Índice de susceptibilidade à seca (ISS), tolerância ao estresse hídrico (TOL), coeficiente de resistência à seca (CS), índice de resistência ao estresse hídrico (IRS), índice de tolerância ao estresse hídrico (ITS) e média harmônica (MH) de 86 híbridos de milho. UFLA, Lavras, MG, 2016. (conclusão).....	75
Tabela 8 - Coeficientes de correlação de Spearman entre a produtividade de grãos potencial (PGp), produtividade de grãos sob estresse hídrico (PGs), índice de susceptibilidade à seca (ISS), tolerância ao estresse hídrico (TOL), coeficiente de resistência à seca (CS), índice de resistência ao estresse (IRS), índice de tolerância ao estresse hídrico (ITS), média harmônica (MH) e produtividade de grãos média (PGm). UFLA, Lavras, MG, 2016.	76

CAPÍTULO 3

Tabela 1 - Código (Cód.) e Híbrido (Híb.) dos 171 híbridos avaliados, UFLA, Lavras, MG, 2016. (continua).....	102
Tabela 2 - Média (M.) e acurácia seletiva (Ac.) para as características de altura de espiga (AE), altura de planta (AP), florescimento masculino (FM) e feminino (FF) e produtividade de grãos (PG), em toneladas/ha ⁻¹ , para os 14 ambientes (Amb.) de avaliação. UFLA, Lavras, MG, 2016.	104

Tabela 3 - Cargas e escores fatorais para o fator 1(F1) e para o fator 2 (F2) referentes as características de produtividade de grãos (PG), altura de espiga (AE), altura de planta (AP), florescimento feminino (FF) e masculino (FM), UFLA, Lavras, MG, 2016. (continua).....110

SUMÁRIO

	CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO GERAL	15
1	INTRODUÇÃO	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
2.1	Aspectos relacionados à tolerância ao déficit hídrico em milho....	17
2.1.1	Características secundárias realacionadas à tolerância ao déficit hídrico em milho.....	18
2.2	Índices de tolerância ao déficit hídrico.....	24
2.3	Interação genótipos x ambientes (GA)	26
2.4	Modelos fator analítico (FA)	30
	REFERÊNCIAS	35
	CAPÍTULO 2 ÍNDICES DE TOLERÂNCIA AO ESTRESSE HÍDRICO EM MILHO	43
1	INTRODUÇÃO	45
2	MATERIAL E MÉTODOS	47
2.1	Instalação e condução dos ensaios	47
2.2	Características avaliadas	48
2.3	Análise estatística	50
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
4	CONCLUSÕES	57
	REFERÊNCIAS	59
	ANEXO A – GRÁFICOS E TABELAS	63
	CAPÍTULO 3 ESTABILIDADE DE HÍBRIDOS DE MILHO EM AMBIENTES COM E SEM RESTRIÇÃO HÍDRICA VIA FATOR ANALÍTICO	77
1	INTRODUÇÃO.....	79
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	81
2.1	Instalação e condução dos ensaios.....	81
2.2	Características avaliadas	82
2.3	Análise dos dados.....	83
2.3.1	Descrição do modelo para análise na primeira etapa	83
2.3.2	Segunda etapa de análise	85
2.3.3	Estimação, predição e adequação do modelo	85
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	87
4	CONCLUSÕES	95
	REFERÊNCIAS	97
	APÊNDICE A – GRÁFICOS E TABELAS	101
	ANEXO A – Cargas e escores fatoriais	110

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO GERAL

1 INTRODUÇÃO

As adversidades climáticas têm sido cada vez mais frequentes, causando grande impacto na produtividade das culturas vegetais ao redor do mundo. A ocorrência de chuvas regulares e bem distribuídas ao longo do ano já não tem sido mais observada em algumas regiões, influenciando negativamente a produção de alimentos.

É consenso entre a maioria dos pesquisadores que a água é o principal fator limitante na produtividade das culturas e o déficit hídrico pode ocasionar perdas de até 100% na produção (CHEN et al., 2012).

A influência do déficit hídrico tem sido relatada pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO) como um dos principais fatores de redução na produção de alimentos para os próximos anos, principalmente em países tropicais.

Algumas estratégias vêm sendo sugeridas visando minimizar as perdas de produção por limitação hídrica, tais como medidas de conservação do solo (HATFIELD et al., 2001), maior eficiência no uso da água (EUA) pelas plantas (CHAICHI et al., 2014; MESSINA et al., 2015) e identificação e desenvolvimento de genótipos com maior tolerância à restrição hídrica (MESSINA et al., 2011).

Para a cultura do milho, recentes pesquisas têm buscado identificar as melhores épocas de semeadura e de população de plantas (COOPER et al., 2014) e o desenvolvimento de híbridos de milho tolerantes à seca através do melhoramento genético (MESSINA et al., 2011; RIBAUT et al., 2009). Esta tem sido a principal estratégia adotada por várias instituições de pesquisa e avanços no melhoramento genético para tolerância ao déficit hídrico têm sido alcançados através da associação entre técnicas de melhoramento convencional de plantas (COOPER et al., 2014), técnicas moleculares e de identificação de QTLs

(MESSMER et al., 2009) e também pela utilização de biotecnologia (CHANG et al., 2014; ZHANG et al., 2010).

Outro fator de grande importância refere-se à interação genótipos por ambientes (GA), influenciando diretamente a adaptabilidade e estabilidade dos genótipos avaliados. Para a análise e quantificação dessa influência, a metodologia *factor analytic multiplicative mixed model* (FAMM) ou, de maneira mais simples, modelo fator analítico (FA), proposta por Piepho (1998), tem se destacado. Esta metodologia é um modelo multiplicativo de coeficientes genotípicos e ambientais (conhecido como cargas e escores fatoriais, respectivamente). Trabalhos desenvolvidos por Kelly et al. (2007) e Piepho (1998) demonstraram a superioridade dos modelos FA no estudo da interação GA. Além disso, Nuvunga et al. (2015) observaram a robustez do modelo FA e verificaram que esta metodologia pode ser eficiente para análise de ensaios com alto nível de desbalanceamento de dados.

Nesse sentido, a tolerância ao déficit hídrico é provavelmente uma das características que apresentam a maior dificuldade de ser identificada com alta precisão (LOPES et al., 2011) e a ausência de informações mais detalhadas sobre os mecanismos genéticos, fisiológicos e fitotécnicos de tolerância ao déficit hídrico, bem como a utilização de metodologias estatísticas de análise mais eficientes podem contribuir para a identificação de genótipos de milho mais produtivos em ambientes com restrição hídrica.

Desse modo, objetivou-se com este trabalho avaliar híbridos de milho em fase de avaliações de valor de cultivo e uso (VCU) ao longo de vários anos, em ambientes com e sem restrição hídrica, através da determinação de índices de tolerância ao estresse hídrico, para a identificação de híbridos com maior adaptabilidade e estabilidade.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Aspectos relacionados à tolerância ao déficit hídrico em milho

A tolerância à seca é melhor definida como a capacidade de o genótipo ser mais produtivo em ambientes de estresse hídrico (RIBAUT et al., 2009).

A expressão de tolerância ao estresse hídrico depende de vários fatores, sendo os principais: a intensidade e duração do período do estresse e também o estágio de desenvolvimento da cultura.

Várias estratégias estão disponíveis para mitigar os danos causados pelo déficit hídrico, tais como: evitar a coincidência do déficit hídrico em estádios de maior exigência da planta (ABREU et al., 2014; HAO et al., 2011); aumentar a eficiência no uso da água disponível; e aumentar a tolerância ao déficit hídrico das linhagens *per se* utilizadas nos programas de melhoramento genético. (RIBAUT et al., 2009). Nesse sentido, a identificação e melhoramento de linhagens e híbridos que apresentem maior tolerância ao estresse hídrico nos estádios de florescimento e enchimento de grãos, além da estabilidade produtiva nos mais variados ambientes, são estratégias eficientes para a obtenção de genótipos mais produtivos em ambientes com déficit hídrico (COOPER et al., 2014).

A planta de milho apresenta maior susceptibilidade ao déficit hídrico durante os estádios de florescimento e enchimento de grãos, podendo ocasionar perdas de até 50% na produtividade de grãos (DURÃES et al., 2005). Isso porque ambientes com estresse hídrico e baixa umidade relativa do ar (UR) diminui a viabilidade do grão-de-pólen, diminui a sincronia entre florescimentos masculino e feminino e provoca menor receptividade do estilo-estigma e maior abortamento dos embriões (RIBAUT et al., 2009). Além disso, o déficit hídrico induz o fechamento dos estômatos, e períodos prolongados de seca podem causar murchamento e enrolamento foliar (ENTRINGER et al., 2010). Ademais,

a restrição hídrica causa a redução da área foliar, com diminuição da atividade fotossintética, levando a um menor crescimento vegetativo e afetando a produtividade de matéria seca e grãos.

2.1.1 Características secundárias relacionadas à tolerância ao déficit hídrico em milho

Características secundárias são aquelas que não estão diretamente relacionadas com a produtividade de grãos propriamente dita, mas que podem fornecer uma medida do desempenho da planta (LAFITTE; BLUM; ATLIN, 2003). Para ser útil na seleção de plantas superiores, uma característica secundária ideal seria aquela geneticamente correlacionada com a produção de grãos no ambiente de avaliação, que possua variabilidade genética, com alta herdabilidade, que seja estável durante todo o período de avaliação e que não esteja associada com qualquer fator de perda de produtividade sob condições sem estresse (EDMEADES et al., 1997; LAFITTE et al., 2003).

Sob condições de déficit hídrico, o progresso na produtividade muitas vezes é afetado pela interação genótipos por ambientes (GA), tanto entre regiões quanto entre anos (MESMER et al., 2009). Dada a baixa herdabilidade da produtividade de grãos sob condições de déficit hídrico, o progresso genético é difícil de ser alcançado via seleção direta. No entanto, mesmo sob condições de déficit hídrico, algumas características permanecem com herdabilidade média a alta (BOLAÑOS; EDMEADES, 1996), o que torna a utilização da seleção indireta uma boa estratégia. Assim, a seleção com base em características secundárias que refletem os efeitos diretos do déficit hídrico pode melhorar a eficiência na seleção, uma vez que minimizam os efeitos de confundimento com outros estresses, como solos de baixa fertilidade, deficiência de micronutrientes e presença de patógenos nas áreas (MONNEVEUX; RIBAUT, 2006).

Um importante fator no contexto de ambientes com estresse hídrico é a temperatura, uma vez que a ocorrência de temperaturas extremas durante o crescimento e desenvolvimento das espigas pode levar a uma interpretação equivocada das estimativas e efeitos da influência do déficit hídrico (OTEGUI; ANDRADE, 2000).

Altas temperaturas diurnas e noturnas também podem ter efeito negativo sobre a produção de grãos, uma vez que o tempo para o desenvolvimento dos estádios vegetativos e principalmente reprodutivos da planta é diminuído. Temperaturas elevadas no estágio de desenvolvimento reprodutivo reduz a dispersão e a viabilidade do pólen, bem como a efetividade de polinização, afetando conseqüentemente o desenvolvimento dos grãos, com redução no número, tamanho e peso desses grãos. (LOBELL et al., 2011). Nesse sentido, as plantas de milho tornam-se susceptíveis a danos causados por elevadas temperaturas depois de atingir estágio de oito folhas (V8) (CHEN et al., 2010).

Além disso, altas temperaturas podem provocar lesões permanentes dos tecidos em desenvolvimento e senescência precoce das folhas. Plantas com acentuada queima de folhas reduzem consideravelmente a área foliar fotossinteticamente ativa, refletindo negativamente na produtividade de grãos (CANTARERO; CIRILO; ANDRADE, 1999; CHEN et al., 2012).

Em milho, manchas foliares e queima de folhas são as duas observações mais comuns nos tecidos vegetais em relação a danos causados por altas temperaturas e déficit hídrico. Nesse sentido, Chen et al. (2012) avaliaram o efeito de altas temperaturas e déficit hídrico em linhagens tolerantes, não tolerantes e geração F1. Não foram observados sinais de folhas queimadas e pendões secos em híbridos de milho advindos do cruzamento de linhagens com tolerância ao calor e linhagens não tolerantes, sugerindo que a tolerância ao calor possui característica dominante em milho. Os mesmos autores verificaram que linhagens sensíveis ao estresse hídrico (B73 e C273A) apresentaram rápida

redução no conteúdo relativo de água na folha em estágio inicial de estresse hídrico. As linhagens tolerantes apresentaram habilidade de manter o crescimento vegetativo e aliviar os danos causados nos tecidos reprodutivos sob condições de seca, comparadas a linhagens não tolerantes.

Outro mecanismo associado às respostas da planta de milho quanto ao déficit hídrico é o enrolamento foliar, que geralmente é considerado como tendo efeito negativo sobre a produtividade de grãos, uma vez que pode refletir em redução da quantidade de luz interceptada pelo dossel (MERCER et al., 2012). No entanto, Bolaños, Edemeades e Martinez (1993) verificaram que não foi possível estabelecer qualquer associação entre o escore de enrolamento foliar com a mudança no potencial de água na folha ou quaisquer mudanças no status da água na folha. Além disso, Ackerson (1983) notou que o enrolamento foliar ocorreu em maior potencial de água na folha em um híbrido de milho considerado tolerante do que em um híbrido comercial não tolerante, sugerindo que o enrolamento foliar pode ser mais associado com o fato de evitar a desidratação do que com tolerância *per se* do híbrido. Além disso, o enrolamento foliar pode ser mais evidente em linhagens que apresentam as características citadas anteriormente (ENTRINGER et al, 2010).

Porém, se inicialmente o enrolamento foliar é uma alternativa visando à menor perda de água pela planta, longos períodos de enrolamento foliar podem ocasionar uma menor taxa de fotossíntese e um rápido fechamento estomático, diminuindo a transpiração, o que eleva a temperatura foliar, pois a transpiração é responsável pelo esfriamento do dossel (JONES et al., 2009).

Tem sido sugerido que a cada 1 °C de aumento acima da temperatura ótima pode resultar em redução na produção de grãos de até 4% (SHAW, 1983). Temperatura alta associada ao déficit hídrico durante o período de polinização das plantas de milho pode resultar em perdas de rendimento de até 100% (CHEN et al., 2012; LOBELL et al., 2011).

A compreensão de parâmetros fisiológicos também tem grande importância no processo de avaliação e desenvolvimento de híbridos tolerantes ao déficit hídrico. Apesar de algumas características não manterem uma relação direta com a tolerância ao estresse e a uma maior produtividade de grãos, muitos parâmetros têm sido utilizados para avaliar a intensidade do estresse e quais os mecanismos envolvidos na tolerância ao déficit hídrico (SOUZA; MAGALHÃES, 2012). O uso de parâmetros fisiológicos ou secundários pode aumentar a precisão na identificação de genótipos superiores nesses ambientes de estresse (ARAUS; SÁNCHEZ; EDMEADES, 2011; SOUZA et al., 2013a).

Dentre essas características fisiológicas, alguns pesquisadores têm destacado alguns caracteres relacionados à transpiração incluem profundidade e sanidade de raízes, área foliar, enrolamento foliar, ajuste osmótico, condutância estomática, temperatura foliar, condutividade hidráulica e concentração de ácido absísico (ABA) (SOUZA; MAGALHÃES, 2012).

O ácido abscísico (ABA) está relacionado à condutividade hidráulica, ao processo de fechamento estomático, ao florescimento e enchimento de grãos (SOUZA et al., 2013b; LIU et al., 2005). De maneira mais acentuada em ambientes com déficit hídrico, há um acúmulo de ABA regulando a abertura e o fechamento dos estômatos bem como em folhas estressadas, reduzindo a perda de água por transpiração (SOUZA et al., 2013a). Nesse sentido, a limitação da fotossíntese nas plantas sob essas condições pode ocorrer também pela inibição ou alterações no metabolismo bioquímico e fotoquímico da planta (SOUZA; MAGALHÃES, 2012; XU et al., 2008). Outro importante mecanismo associado à tolerância ao déficit hídrico está relacionado com a capacidade da planta na retenção de água a nível celular (BAI et al., 2006; RIBAUT et al., 2009).

A produção de grãos pode ser modelada como o produto da quantidade de água transpirada, a eficiência no uso da água (EUA) e o índice de colheita (IC) dos genótipos de milho (RIBAUT et al., 2009).

Segundo Ribaut et al. (2009), a produtividade de grãos sob déficit hídrico foi fortemente correlacionada com características relacionadas ao IC, tais como o número de espigas por planta, o número de grãos por espiga e um menor IFMF; além disso, os autores observaram correlação moderada com a senescência foliar, a concentração de clorofila na folha e a altura de plantas.

Edmeades et al. (1997), após a classificação de uma série de características secundárias baseadas na associação com a produtividade de grãos, variabilidade genética, herdabilidade e tempo necessário para a fixação dessas características nos genótipos de interesse, identificaram que o número de espigas por planta e IFMF foram as características secundárias que apresentaram maior utilidade no processo de avaliação e seleção. Além disso, ambos estão associados com o IC (RIBAUT et al., 2009).

A capacidade da planta em se manter verde por um período de tempo maior (*stay-green*) é uma característica complexa e tem sido associada à maior tolerância da planta de milho ao déficit hídrico (ABREU et al., 2014).

Borrell, Hammer e Van-Oosterom (2001) destacaram que não é sempre claro que a baixa senescência foliar é a causa da maior tolerância ao déficit hídrico de um híbrido de milho, uma vez que o crescimento e desenvolvimento radicular mais profundo pode gerar esse tipo de incerteza.

Além disso, Mesmer et al. (2009) identificaram QTLs associados à clorofila e senescência foliar, e concluíram que essas características secundárias podem ser úteis para melhorar a capacidade de tolerância ao déficit hídrico e/ou utilizadas nas primeiras etapas de seleção dentro de um programa de melhoramento genético para tolerância à seca.

Assim, por exemplo, observa-se uma correlação alta negativa entre IFMF e produtividade de grãos de milho cultivado sob estresse hídrico (MONNEVEUX; RIBAUT, 2006). E essa é uma das características secundárias que são amplamente utilizadas para melhorar a tolerância ao déficit hídrico em milho.

A contribuição do número de espigas por planta e IFMF foi confirmada em um experimento de grande escala conduzida pelo CIMMYT, usando seis populações segregantes derivadas de quatro cruzamentos, avaliado em 44 ambientes com déficit hídrico e 12 ambientes sem déficit hídrico, onde foram avaliados a produtividade de grãos e um conjunto de oito características secundárias. O nível de correlação entre características foi, de maneira geral, maior sob ambientes com déficit hídrico. Tais níveis de correlação reforçaram a importância das características de prolificidade e IFMF para melhorar a tolerância ao déficit hídrico e indicaram que, para além delas, algumas outras características, tais como população de plantas, também devem ser consideradas no índice de seleção (RIBAUT et al., 2009).

Nesse sentido, a magnitude da herdabilidade de características como IFMF é média a alta, podendo até mesmo aumentar em ambientes com restrição hídrica (BOLAÑOS; EDMEADES, 1996).

Avanços genéticos no aumento de produtividade de grãos de híbridos de milho comerciais têm sido alcançados em ambientes com estresse hídrico induzido em vários estádios reprodutivos, bem como para as condições sem restrição hídrica (CAMPOS et al., 2004). A seleção e melhoramento genético convencional têm permitido avanços no desenvolvimento de híbridos de milho tolerantes ao déficit hídrico (COOPER et al., 2014; MESSINA et al., 2011).

No entanto, Mercer et al. (2012) destacaram que, devido ao intenso processo de seleção e geração de novos híbridos com maior potencial produtivo em ambientes de déficit hídrico, é necessária a identificação de novas

características associadas ou o desenvolvimento de novas estratégias para se manter ou ampliar a diversidade genética das populações para que os ganhos com a seleção continuem contribuindo para o aumento de produtividade de grãos.

2.2 Índices de tolerância ao déficit hídrico

Nos últimos anos, alguns métodos de avaliação e seleção de genótipos tolerantes ao déficit hídrico têm sido utilizados com eficiência em culturas como trigo e cevada. Estes métodos referem-se à índices de tolerância obtidos a partir das produtividades dos genótipos em ambientes com e sem restrição hídrica (MORADI et al., 2012).

Mais recentemente, algumas pesquisas apontaram para a utilização desses índices como possíveis ferramentas de auxílio na identificação de híbridos de milho com maior tolerância ao déficit hídrico (MORADI et al., 2012; HAO et al., 2011; JAFARI et al., 2009).

Nesse sentido, Fischer e Maurer (1978) definiram o índice de susceptibilidade à seca (ISS) para avaliar a tolerância ao déficit hídrico em genótipos de trigo, onde foi considerada a relação entre as produtividades de grãos do genótipo em ambientes com e sem restrição hídrica, bem como a média geral em cada situação.

Posteriormente, Rosielle e Hamblin (1981) propuseram um critério de seleção para definir a tolerância ao déficit hídrico (TOL) com base na diferença entre a produtividade média do genótipo em ambientes com e sem restrição hídrica.

Para os índices ISS e TOL, menores valores observados indicam híbridos tolerantes ao déficit hídrico e selecionam mais eficientemente híbridos com maiores produtividades em ambientes com restrição hídrica. Porém, não

apresentaram a mesma eficiência em ambientes sem restrição hídrica (JAFARI et al., 2009).

Em 1984, foi proposto o coeficiente de resistência à seca (CS) (BLUM, 1984) para avaliar genótipos tolerantes ao estresse hídrico. Esse índice é baseado na relação entre a produtividade do genótipo em ambientes com e sem restrição hídrica. Hao et al. (2011) propuseram um conjunto de critérios para aumentar a precisão na identificação de linhagens de milho tolerantes ao déficit hídrico e verificaram que este índice não forneceu informações precisas na maioria dos ambientes sem restrição hídrica, apesar de o CS ter sido comumente utilizado em outros trabalhos para identificar genótipos que tinham uma boa produtividade de grãos tanto em ambientes com restrição hídrica quanto em ambientes com boa disponibilidade de água,

O estudo de Fernandez (1992) objetivou avaliar alguns critérios de seleção de genótipos tolerantes ao déficit hídrico. Assim, o autor dividiu a reação de genótipos de milho em condições de estresse e sem estresse hídrico em quatro grupos: produtividade de grãos mais elevada que a média em ambas as condições (grupo A); produtividade de grãos superior à média na condições sem estresse hídrico (grupo B); maior produtividade de grãos em relação à média em condições de estresse (grupo C) e produtividade de grãos inferior em ambas as condições (grupo D) e propôs um índice que poderia separar híbridos de grupos diferentes de uma maneira mais adequada. Este critério ficou conhecido como índice de resistência à seca (IRS).

Outro índice foi proposto por Lan (1998), denominado de índice de tolerância ao estresse (ITS), e mais recentemente, foi proposto o índice de tolerância baseado na média harmônica (MH) de produtividade dos genótipos em avaliação, sugerido por Mardeh et al. (2006).

Para os índices CS, IRS, ITS e MH, maiores valores indicam híbridos tolerantes à restrição hídrica e apresentam maior eficiência em identificar híbridos superiores nos dois ambientes (HAO et al., 2011; JAFARI et al., 2009).

De acordo com Fernandez (1992), a melhor medida para a seleção de híbridos de milho sob condições de déficit hídrico é aquela que permite selecionar híbridos que apresentem boas produtividades em ambos os ambientes e os melhores índices são aqueles que têm uma alta correlação com a produção de grãos em ambas as condições.

Segundo Hao et al. (2011), uma das limitações para a utilização de índices de tolerância está relacionada ao fato de que os valores ignoram a relação com outras características morfológicas correlacionadas ao bom desempenho produtivo em ambientes de déficit hídrico. Mas para Mehradi et al. (2011) híbridos de milho com alto rendimento podem ser obtidos com base no índice ITS.

2.3 Interação genótipos x ambientes (GA)

O desempenho diferenciado dos genótipos em diferentes ambientes é decorrente da interação existente entre o genótipo e o ambiente em que está sendo cultivado. Desse modo, o conhecimento e a quantificação da interação genótipos por ambientes (GA) têm grande importância no processo de seleção e desenvolvimento de híbridos de milho. Nesse contexto, a ocorrência de interação GA pode influenciar, em menor ou maior magnitude, o desempenho e ranqueamento dos genótipos em avaliação.

O desempenho dos genótipos frente às variações ambientais pode ser previsível, tais como local, comprimento do dia, etc; e imprevisíveis, tais como grandes alterações na precipitação, alternância extrema de temperatura, etc. (ALLARD; BRADSHAW, 1964). Para a contribuição na interação GA, as variações imprevisíveis apresentam maior impacto.

A interação GA afeta diretamente a adaptabilidade e estabilidade dos genótipos avaliados. Nesse sentido, Mariotti et al. (1976) definiram a estabilidade como a capacidade do genótipo em apresentar um desempenho o mais constante possível, com boa previsibilidade, frente às variações ambientais e a adaptabilidade foi definida como a capacidade do genótipo em apresentar um desempenho superior frente à melhoria do ambiente.

Visando atenuar a interação GA, Ramalho et al. (2012) destacaram algumas estratégias que podem ser aplicadas, tais como: identificação de um híbrido para cada ambiente específico; identificação de híbridos que apresentem uma maior estabilidade fenotípica; e, sempre que possível, realização da estratificação ambiental.

Para Ribaut et al. (2009), a identificação e o uso de linhagens com características superiores relacionadas à maior tolerância ao déficit hídrico são a chave para o sucesso do melhoramento e desenvolvimento de híbridos de milho tolerantes a esse tipo de estresse.

Sob condições de déficit hídrico, o progresso na produtividade de grãos muitas vezes é afetado pela interação GA, tanto dentro de ambientes quanto dentro de anos (COOPER et al., 2014; MESSINA et al., 2011). Nesse contexto, Cullis et al. (2000) verificaram que a interação GA para ensaios na mesma região apresentou alta magnitude, tanto quanto as interações GA para ensaios em diferentes regiões, inferindo que as adversidades ambientais sazonais têm forte influência no desempenho dos genótipos.

Além disso, um alelo associado a um determinado gene ou QTL pode apresentar diferentes efeitos dependendo da condição ambiental em que o genótipo é cultivado (CHENU et al., 2009), acentuando o confundimento devido à interação GA.

A escolha dos locais e ambientes onde são realizados os ensaios de campo é uma fase crítica no processo de avaliação de híbridos de milho

tolerantes ao déficit hídrico, visto que a interação GA influencia diretamente o ganho genético com a seleção (COOPER et al., 2006). Assim, os locais de avaliação devem reproduzir de maneira mais próxima possível o ambiente alvo em relação à distribuição de chuvas, propriedades físicas e químicas do solo, perfis de distribuição de água e taxas de evapotranspiração potencial, etc.

Dos métodos de fenotipagem de genótipos de milho que têm sido propostos e têm demonstrado boa possibilidade de utilização em grande escala, o uso de ensaios em multi ambientes (MET) tem se destacado (COOPER et al., 2014; SMITH et al., 2015). Com a utilização de METs, o objetivo do melhorista se concentra em explorar, em diferentes condições, os genótipos para importantes características fenotípicas em vários locais e em vários anos a partir de uma população de ambientes alvos (TPE) do programa de melhoramento (COOPER et al., 2014). Além disso, as METs proporcionam um método prático para o dimensionamento da fenotipagem para os programas de melhoramento (BANZIGER et al., 2006; REBETZKE et al., 2013; WEBER et al., 2012).

Conforme destacado por Smith et al. (2015), o desenvolvimento de pesquisas em METs é essencial para estimar a importância da interação GA, principalmente em ensaios visando ao melhoramento de híbridos de milho tolerantes ao déficit hídrico, onde a redução do vigor da planta pode superestimar a resposta à variação ambiental (RIBAUT et al., 2009).

Neste contexto, Hao et al. (2011) realizaram avaliações fenotípicas em mais de 20 caracteres morfológicos e de produtividade para 201 linhagens de milho sob déficit hídrico em sete ambientes e propuseram um critério de seleção. Os autores verificaram que as características secundárias como prolificidade, número de grãos por espiga, intervalo entre florescimento masculino e feminino (IFMF), altura de plantas e enrolamento foliar foram altamente correlacionadas com a produtividade de grãos nos ambientes com e sem restrição hídrica. Além disso, os autores concluíram que, para 128 linhagens (63,7%), a avaliação dessas

características foi consistente em mais de 3 ambientes, sugerindo uma baixa interação GA.

Na última década, os métodos de avaliação de genótipos passaram de uma abordagem puramente biométrica para uma abordagem que explora vários ensaios e aspectos genéticos. Nesse sentido, Cooper et al. (2006) destacaram que os componentes da interação GA poderiam ser divididos em QTLs x ambientes, o que permitiu o desenvolvimento de modelos onde aspectos de um fenótipo complexo expresso sob um ambiente pode ser parcialmente descrito em relação a mecanismos moleculares.

Diferentes metodologias para avaliar a adaptabilidade e a estabilidade têm sido aperfeiçoadas e até mesmo desenvolvidas. Estas metodologias têm sido baseadas em análises de variância, regressão linear, regressão não linear, análise multivariada e estatística não paramétrica (FIGUEIREDO et al., 2014). Além disso, a análise de modelos mistos, incluindo os recursos experimentais de design e condições adequadas para modelar covariâncias entre os resíduos vizinhos e resíduos heterogêneos entre experimentos é recomendada (GILMOUR et al., 2009).

Uma das metodologias utilizadas na avaliação da interação GA é baseada em análise multiplicativa, que explora a resposta dos genótipos em ambientes específicos, descrevendo a interação GA de uma forma mais criteriosa (RESENDE; THOMPSON, 2004). A vantagem dos métodos multiplicativos reside na possibilidade de agrupamento de ambientes e genótipos semelhantes, permitindo também a identificação dos genótipos com maior potencial produtivo nos agrupamentos de ambientes, através da interpretação de gráficos biplot (NUVUNGA et al., 2015).

Resende e Thompson (2004) destacou que um modelo multivariado, considerando todos os locais simultaneamente, é adequado para a seleção, tendo como alvo a produtividade média de grãos. No entanto, para o mesmo autor, um

modelo mais completo pode permitir inferências adicionais, tais como a seleção de genótipos específicos para cada local; a seleção de genótipos estáveis considerando-se a série de locais e seleção de genótipos responsivos à melhoria do ambiente, ou seja, genótipos que apresentem boa adaptabilidade, estabilidade e boa produtividade de grãos.

Uma melhor compreensão da interação GA e características que afetam a magnitude dessa interação podem proporcionar avanços na avaliação e identificação de híbridos de milho com maior tolerância ao déficit hídrico.

2.4 Modelos fator analítico (FA)

O *factor analytic multiplicative mixed model* (FAMM) ou, de maneira mais simples, modelo fator analítico (FA) foi proposto por Piepho (1998) e é um modelo multiplicativo de coeficientes genotípicos e ambientais (conhecido como cargas e escores fatoriais, respectivamente). Neste modelo, os efeitos de genótipos e da interação GA são considerados aleatórios, o que, do ponto de vista conceitual, é mais eficiente que o modelo *additive main effects and multiplicative interaction* (AMMI). O modelo FA também é conhecido como AMMI aleatórios (RESENDE, 2007). Neste contexto, a classificação dos efeitos de genótipos em fixo ou aleatório é importante. Embora, a princípio, essa classificação possa parecer irrelevante, ela interfere diretamente na definição do modelo e, conseqüentemente, na utilização de diferentes funções para ranquear os genótipos.

Se genótipos forem considerados como de efeitos fixos, as suas médias serão estimadas utilizando os melhores estimadores lineares não viesados (BLUEs) baseados em mínimos quadrados generalizados. Caso os genótipos forem considerados de efeitos aleatórios, devem ser utilizados os melhores preditores lineares não viesados (BLUPs) (FISCHER et al., 2009).

Os modelos FA visam à redução do número de parâmetros referentes às estimativas de covariâncias genóticas não estruturadas (UN). Porém, alguns autores destacaram que a sua aplicação é complicada e não há garantias de convergência (FIGUEIREDO et al., 2014; NUVUNGA et al., 2015).

De acordo com Kelly et al. (2007), o modelo FA é uma forma parcimoniosa usada para aproximar a forma totalmente não estruturada da matriz de variância-covariância genética (Σ) no modelo de dados MET.

A modelagem de efeitos da interação GA para ensaios METs dentro de uma estrutura de modelos mistos tem sido usada com maior frequência em programas de melhoramento de plantas.

O modelo misto tradicional é dado por:

$$y = Xb + Zu + e$$

em que:

y : vetor de observações;

b : vetor dos efeitos fixos, com matriz de incidência X;

u : vetor dos efeitos aleatórios, com matriz de incidência Z, $u \sim N(0, \Sigma)$

e : vetor de erros aleatórios, $e \sim N(0, R)$.

Uma extensão dos modelos mistos visando à incorporação de análise de fatores pode ser descrito como:

$$y = Xb + Z[Lf + \delta] + e,$$

com $u = [Lf + \delta]$,

em que:

\mathbf{f} é o vetor de escores fatoriais para os indivíduos nos ambientes;
 δ é o vetor de erros representando a falta de ajuste do modelo fatorial.

Sob esse modelo, a matriz de covariância genética é dada por:

$$\Sigma = \Lambda \Lambda' + \psi$$

em que:

$$\Lambda \Lambda' = \mathbf{V} \mathbf{D}_a \mathbf{V}'$$

\mathbf{D}_a é a matriz diagonal dos m autovalores e \mathbf{V} é a matriz dos autovetores.

Escolhendo-se \mathbf{V} e \mathbf{D}_a referentes apenas à dimensão m esse modelo misto é reduzido e ajusta somente os m fatores. Na técnica FAMM, a estrutura de covariância é simplificada para:

$$\Sigma = \Lambda_p \Lambda_p' + \Psi$$

em que:

$p \Lambda$: é a matriz das cargas dos fatores nas variáveis;

Ψ : é a matriz diagonal de variâncias específicas

Trabalhos desenvolvidos por Kelly et al. (2007) e Piepho (1998) demonstraram a superioridade dos modelos FA no estudo da interação GA. Porém, apesar de terem demonstrado a eficiência desses modelos em estudos de interação GA em casos de desbalanceamento de dados, esses trabalhos não consideraram a robustez dos modelos FA, o que foi demonstrado por Burgueño

et al. (2011). Crossa et al. (2011) também verificaram a robustez dos modelos FA na presença de desbalanceamento de dados; porém, não testaram diferentes níveis de perdas, o que é comumente encontrado em ensaios de avaliação de híbridos de milho à nível de campo.

Visando contribuir nos avanços relacionados a esse tema, Nuvunga et al. (2015) adotaram um modelo FA com variâncias UN e avaliaram três níveis de desbalanceamentos (10%, 30% e 50%) em um conjunto de dados reais. Os autores concluíram que a análise FA é robusta para dados de MET com diferentes níveis de desbalanceamento de dados, com correlações de média a alta magnitude, dependendo do nível de perda estabelecido.

Uma característica fundamental do modelo de FA para os dados MET é a capacidade de generalização da estrutura de variância associada para efeitos da interação GA, seja no ambiente ou no genótipo. O modelo de variância mais geral, e, por conseguinte, o modelo que irá proporcionar o melhor ajuste (no sentido de probabilidade) para os dados, é uma matriz não estruturada (SMITH; CULLIS; THOMPSON, 2005).

Um fator considerado limitante na adoção de modelos FA está baseado na dificuldade de implementação computacional, uma vez que os pacotes disponíveis para análise não exploram o modelo de regressão em que se encaixa o modelo FA (SMITH; CULLIS; THOMPSON, 2001). Como consequência, as equações do modelo misto apresentam relativa robustez, o que reduz significativamente a velocidade das análises para um conjunto de dados advindos de um número de ambientes relativamente alto ou quando se ajusta a variância de modelos FA com vários fatores, o que é comumente encontrado em programas de melhoramento de plantas de empresas (THOMPSON et al., 2003).

Outro fator limitante destacado por Smith et al. (2015) é que os modelos FA permitem a modelagem da resposta dos híbridos nos ambientes em que foram avaliados, não permitindo a predição em um novo ambiente. Ainda de

acordo com os mesmos autores, a expansão da predição no âmbito de fora do conjunto de dados tem sido assunto de pesquisas atuais e futuras.

No Brasil, trabalhos como os de Figueiredo et al. (2014) e Nuvunga et al. (2015) abordaram com sucesso o emprego de modelos FA na análise de dados desbalanceados oriundos de programas de melhoramento de milho.

REFERÊNCIAS

- ABREU, V. M. et al. Physiological performance and expression of isozymes in maize seeds subjected to water stress. **Seed Science**, Londrina, v. 36, n. 1, p. 40-47, 2014.
- ACKERSON, R. C. Comparative physiology and water relations of two corn hybrids during water stress. **Crop Science**, Madison, v. 23, p. 278-283, 1983.
- ALLARD, R. W.; BRADSHAW, A. D. Implications of genotype-environment interaction in applied plant breeding. **Crop Science**, Madison, v. 4, n. 5, p. 503-508, Sept. 1964.
- ARAUS, J. L.; SÁNCHEZ, C.; EDMEADES, G. O. Phenotyping maize for adaptation to drought. In: MONNEVEUX, P.; RIBAUT, J. M. (Ed.). **Drought phenotyping in crops: from theory to practice**. Texcoco: CGIAR Generation Challenge Programme, 2011. p. 263-283.
- BAI, L. P. et al. Effect of soil drought stress on leaf water status, membrane permeability and enzymatic antioxidant system of maize. **Pedosphere**, Amsterdam, v. 16, n. 3, p. 326–332, June 2006.
- BANZIGER, M. et al. Breeding for improved abiotic stress tolerance in maize adapted to southern Africa. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 80, n. 1/3, p. 212–224, Feb. 2006.
- BLUM, A. Breeding crop varieties for stress environments. **Critical Reviews in Plant Sciences**, Oxford, v. 2, n. 3, p. 199–238, Dec. 1984.
- BOLAÑOS, J.; EDEMEADES, G. O.; MARTINEZ, L. Eight cycles of selection for drought tolerance in tropical maize. III. Responses in drought-adaptive physiological and morphological traits. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 31, n. 3/4, p. 223-36, Jan. 1993.
- BOLAÑOS, J.; EDMEADES, G. O. The importance of the anthesis-silking interval in breeding for drought tolerance in tropical maize. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 48, n. 1, p. 269-286, Sept. 1996.
- BORRELL, A.; HAMMER, G.; VAN-OOSTEROM, E. Stay-green: a consequence of the balance between supply and demand for nitrogen during grain filling. **Annals of Applied Biology**, Warwick, v. 138, p. 91-95, Feb. 2001.

BURGUEÑO, J. et al. Prediction assessment of linear mixed models for multienvironment trials. **Crop Science**, Madison, v. 51, n. 3, p. 944-954, July 2011.

CAMPOS, H. et al. Improving drought tolerance in maize: a view from industry. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 90, n. 1, p. 19-34, Nov. 2004.

CANTARERO, M. G.; CIRILO, A. G.; ANDRADE, F. H. Night temperature at silking affects kernel set in maize. **Crop Science**, Madison, v. 39, n. 3, p. 703–710, Jan. 1999.

CHAICHI, M. R. et al. Surfactant application on yield and irrigation water use efficiency in corn under limited irrigation. **Crop Science**, Madison, v. 55, n. 1, p. 386-393, Oct. 2014.

CHANG, J. et al. Water stress impacts on transgenic drought-tolerant corn in the northern Great Plains. **Agronomy Journal**, Madison, v. 106, p. 125-130, Mar. 2014.

CHEN, J. et al. Characterization of maize inbred lines for drought and heat tolerance. **Journal of Soil and Water Conservation**, Amsterdam, v. 67, n. 5, p. 354-364, Sept. 2012.

CHEN, L. et al. Identification and expression analysis of genes in response to high-salinity and drought stresses in *Brassica napus*. **Acta Biochimica et Biophysica Sinica**, Shanghai, v. 42, n. 2, p. 154–164, Feb. 2010.

CHENU, K. et al. Simulating the yield impacts of organ-level quantitative trait loci associated with drought response in maize: a ‘gene-to-phenotype’ modeling approach. **Genetics**, Austin, v. 183, n. 4, p. 1507-1523, Dec. 2009.

COOPER, M. et al. Breeding drought-tolerant maize hybrids for the US Cornbelt: discovery to product. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 65, p. 6191–6204, Mar. 2014.

COOPER, M. et al. Genotype-by-environment interactions under water-limited conditions. In: RIBAUT, J.-M. (Ed.). **Drought adaptation in cereals**. Binghamton: The Haworth Press, 2006. p. 51-95.

CROSSA, J. et al. Prediction assessment of linear mixed models for multienvironment trials. **Crop Science**, Madison, v. 51, n. 3, p. 944-954, July 2011.

CULLIS, B. R. et al. An examination of the efficiency of Australian crop variety evaluation programmes. **Journal of Agriculture Science**, Cambridge, v. 135, n. 3, p. 213–222, Nov. 2000.

DURÃES, F. O. M. et al. **Fenotipagem para tolerância a seca**: protocolos e características específicas visando o melhoramento genético de cereais. Brasília: Embrapa Milho e Sorgo, 2005. 17 p. (Circular Técnica, 54).

EDMEADES, G. O. et al. Value of secondary traits in selecting for drought tolerance in tropical maize . In: EDMEADES, G. O. (Ed.). et al. **Developing drought and low-N tolerant maize**. Mexico: CIMMYT, 1997. p. 222-234.

ENTRINGER, G. C. et al. Modificações nas características estomáticas de plantas de genótipos de milho (*Zea mays* L. spp *mays*) em função da morfologia foliar. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 28., 2010, Goiânia. Anais... Goiânia: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2010. 1 CD-ROM.

FERNANDEZ, G. C. J. Effective selection criteria for assessing stress tolerance. In: KUO, C. G. (Ed.). **Proceedings of the international symposium on adaptation of vegetables and other food crops in temperature and water stress**. Taiwan: AVRDC, 1992. p. 257-270.

FIGUEIREDO, A. G. et al. Application of mixed models for evaluating stability and adaptability of maize using unbalanced data. **Euphytica**, Wageningen, v. 202, n. 3, p. 1-17, Apr. 2014.

FISCHER, R. A.; MAURER, R. Drought resistance in spring wheat cultivar, I: grain yield responses. **Australian Journal of Agricultural Research**, Victoria, v. 29, n. 5, p. 897-912, 1978.

FISCHER, S. et al. Impact of genetic divergence on the ratio of variance due to specific vs. general combining ability in winter triticale. **Crop Science**, Madison, v. 49, n. 6, p. 2119-2122, Dec. 2009.

GILMOUR, A. R. et al. **ASReml user guide release 3.0**. Hemel Hempstead: VSN International, 2009. 398 p.

HAO, Z. et al. Identification of functional genetic variations underlying drought tolerance in maize using SNP markers. **Plant Biology**, Stuttgart, v. 53, n. 8, p. 641–652, May 2011.

HATFIELD, J. L. et al. Managing soils to achieve greater water use efficiency. **Agronomy Journal**, Madison, v. 93, n. 2, p. 271-280, Jan. 2001.

JAFARI, A. et al. Evaluation of selection indices for drought tolerance of corn (*Zea mays* L.) hybrids. **International Journal of Plant Production**, New York, v. 3, n. 4, p. 124-131, 2009.

JONES, H. G. et al. Thermal infrared imaging of crop canopies for the remote diagnosis and quantification of plant responses to water stress in the field. **Functional Plant Biology**, Victoria, v. 36, p. 978-989, 2009.

KELLY, A. M. et al. The accuracy of varietal selection using factor analytic models for multi-environment plant breeding trials. **Crop Science**, Madison, v. 47, n. 3, p. 1063-1070, Aug. 2007.

LAFITTE, H. R.; BLUM, A.; ATLIN, G. Using secondary traits to help identify drought-tolerant genotypes. **Crop Science**, Madison, v. 32, p. 234-246, Dec. 2003.

LAN, J. Comparison of evaluating methods for agronomic drought resistance in crops. **Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica**, Washington, v. 7, p. 85–87, 1998.

LIU, F. et al. A review of drought adaptation in crop plants: changes in vegetative and reproductive physiology induce by ABA-based chemical signals. **Australian Journal of Agricultural Research**, Victoria, v. 56, n. 11, p. 1245-1252, Dec. 2005.

LOBELL, D. B. et al. Nonlinear heat effects on African maize as evidenced by historical yield trials. **Nature Climate Change**, New York, v. 1, p. 42-45, Mar. 2011.

LOPES, M. S. et al. Enhancing drought tolerance in C4 crops. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 62, n. 9, p. 3135–3153, Apr. 2011.

MARDEH, A. S.-S. et al. Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 98, n. 2/3, p. 222-229, Aug. 2006.

MARIOTTI, J. A. et al. Análisis de estabilidad y adaptabilidad de genotipos de cana de azúcar. I. Interacciones dentro de un localidad experimental. **Revista Agronómica del Noroeste Argentino**, Tucuman, v. 13, n. 1/4, p.105-127, Jan. 1976.

MEHRADI, P. et al. Study of drought tolerance of corn genotypes using STI index. **Middle-East Journal of Science Research**, Washington, v. 2, p. 68-70, 2011.

MERCER, K. L. et al. Climate change and the transgenic adaptation strategy: Smallholder livelihoods, climate justice, and maize landraces in Mexico. **Global Environmental Change**, Guildford, v. 22, n. 2, p. 495–504, May 2012.

MESSINA, C. D. et al. Limited-transpiration trait may increase maize drought tolerance in the US corn belt. **Agronomy Journal**, Madison, v. 107, n. 6, p. 1978-1986, 2015.

MESSINA, C. D. et al. Yield trait performance landscapes: from theory to application in breeding maize for drought tolerance. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 62, p. 855–868, Nov. 2011.

MESSMER, R. et al. Drought stress and tropical maize: QTL by environment interactions and stability of QTLs across environments for yield components and secondary traits. **Theoretical Applied Genetics**, Berlin, v. 119, n. 5, p. 913–930, 2009.

MONNEVEUX, P. et al. Drought tolerance improvement in tropical maize source populations: evidence of progress. **Crop Science**, Madison, v. 46, n. 1, p. 180–191, 2006.

MONNEVEUX, P.; RIBAUT, J.-M. Secondary traits for drought tolerance improvement in cereals In: RIBAUT, J.-M. (Ed.). **Drought adaptation in cereals**. Binghamton: The Haworth Press, 2006. p. 97–143.

MORADI, H. et al. Evaluation of drought tolerance in corn (*Zea mays* L.) new hybrids with using stress tolerance indices. **European Journal of Sustainable Development**, Easton, v. 1, n. 3, p. 543-560. 2012.

NUVUNGA, J. J. et al. Factor analysis using mixed models of multi-environment trials with different levels of unbalancing. **Genetics and Molecular Research**, New York, v. 14, n. 4, p. 14262-14278, 2015.

OTEGUI, M. E.; ANDRADE, F. H. New relationship between light interception, ear growth, and kernel set in maize. Chapter 6. In: WESTGATE, M.; BOOTE, K. (Ed.). **Physiology and modeling kernel set in maize**. Baltimore: CSSA, 2000. p. 89–102.

PIEPHO, H. P. Empirical best linear unbiased prediction in cultivar trials using factor-analytic variance-covariance structures. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 97, n. 1/2, p. 195-201, 1998.

RAMALHO, M. A. P. et al. **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas**. Lavras: Editora da UFLA, 2012. 522 p.

REBETZKE, G. L. et al. A multisite managed environment facility for targeted trait and germplasm phenotyping. **Functional Plant Biology**, Victoria, v. 40, n. 1, p. 1–13, Nov. 2013.

RESENDE, M. D. V. de. **Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento de plantas**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2007. 559 p.

RESENDE, M. D. V. de; THOMPSON, R. Factor analytic multiplicative mixed models in the analysis of multiple experiments. **Revista de Matemática e Estatística**, Marília, v. 22, n. 2, p. 1-22, dez. 2004.

RIBAUT, J. M. et al. **Drought tolerance in maize**. In: BENNETZEN, J. F.; HAKE, S. C. **Handbook of maize**. New York: Springer, 2009. p. 731-739.

ROSIELLI, A.; HAMBLIN, J. Theoretical aspects of selection for yield in stress and nonstress environment. **Crop Science**, Madison, v. 21, n. 6, p. 493-502, 1981.

SHAW, R. H. Estimates of yield reduction in corn caused by water and temperature stress. In: RAPER, D. C.; KRAMER, P. J. (Ed.). **Crop reactions to water and temperature stresses in humid temperate climates**. Rio de Janeiro: Westview Press, 1983. p. 49-66.

SMITH, A. B. et al. Factor analytic mixed models for the provision of grower information from national crop variety testing programs. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 128, n. 1, p. 55–72, Jan. 2015.

SMITH, A. B.; CULLIS, B. R.; THOMPSON, R. Analyzing variety by environment data using multiplicative mixed models and adjustments for spatial field trend. **Biometrics**, Washington, v. 57, n. 6, p. 1138-1147, Dec. 2001.

SMITH, A. B.; CULLIS, B. R.; THOMPSON, R. The analysis of crop cultivar breeding and evaluation trials: an overview of current mixed model approaches. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 143, n. 6, p. 449-462, Dec. 2005.

SOUZA, T. C. et al. Morphophysiology, morphoanatomy, and grain yield under field conditions for two maize hybrids with contrasting response to drought stress. **Acta Physiologiae Plantarum**, New York, v. 35, n. 11, p. 3201-3211, Nov. 2013a.

SOUZA, T. C. et al. The influence of ABA on water relation, photosynthesis parameters, and chlorophyll fluorescence under drought conditions in two maize hybrids with contrasting drought resistance. **Acta Physiologiae Plantarum**, New York, v. 35, n. 11, p. 515-527, 2013b.

SOUZA, T. C.; MAGALHÃES, P. C. Mecanismos fisiológicos de tolerância e avaliação do estresse hídrico em milho. In: PATERNIANI, M. E. A. G. Z.; DUARTE, A. P.; TSUNECHIRO, A. **Diversidades e inovações na cadeia produtiva de milho e sorgo na era dos transgênicos**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2012. Cap. 3, p. 35-64.

THOMPSON, R. et al. A sparse implementation of the average information algorithm for factor analytic and reduced rank variance models. **Biometrics**, Austin, v. 45, n. 4, p. 445-459, Oct. 2003.

WEBER, V. S. et al. Efficiency of managed-stress screening of elite maize hybrids under drought and low nitrogen for yield under rainfed conditions in Southern Africa. **Crop Science**, Madison, v. 52, n. 3, p. 1011-1020, Sept. 2012.

XU, Z. Z. et al. Changes in chlorophyll fluorescence in maize plants with imposed rapid dehydration at different leaf ages. **Journal of Plant Growth Regulators**, Oxford, v. 27, n. 1, p. 83-92, Mar. 2008.

ZHANG, S. et al. Over-expression of TsCBF1 gene confers improved drought tolerance in transgenic maize. **Molecular Breeding**, Dordrecht, v. 26, n. 3, p. 455-465, Oct. 2010.

CAPÍTULO 2 ÍNDICES DE TOLERÂNCIA AO ESTRESSE HÍDRICO EM MILHO

RESUMO

O estresse hídrico é o fator abiótico com o maior impacto para a produtividade das culturas vegetais. O objetivo neste trabalho foi avaliar a produtividade de grãos e a tolerância ao estresse hídrico de híbridos de milho. Foram avaliados 86 híbridos, em ambientes com (A1) e sem restrição hídrica (A2), em três anos consecutivos. Utilizou-se o delineamento látice quadrado (6x6) com 6 tratamentos comuns, com 4 repetições. Foram avaliadas as características de produtividade de grãos potencial (PGp), produtividade de grãos sob estresse hídrico (PGs), florescimento masculino (FM) e feminino (FF), altura de planta (AP) e espiga (AE). Avaliaram-se os índices de susceptibilidade à seca (ISS), de tolerância ao estresse hídrico (TOL), o coeficiente de resistência à seca (CS), de resistência ao estresse hídrico (IRS), índice de tolerância ao estresse hídrico (ITS) e média harmônica (MH). Houve diferença entre os híbridos e ambientes para todas as características avaliadas. Os híbridos 3, 5, 6, 32 e 86 apresentam potencial para serem utilizados em ambientes com restrição hídrica. Os índices ITS e MH podem ser utilizados na avaliação e identificação de híbridos de milho mais produtivos em ambientes com e sem restrição hídrica.

Palavras-chave: *Zea mays*. Déficit hídrico. Resistência à seca.

Water stress tolerance index for corn

Abstract - Water stress is the abiotic factor with the highest impact over the productivity of plant cultures. The objective of this work was to evaluate grain productivity and the tolerance to water stress of corn hybrids. We evaluated 86 hybrids, in environments with (A1) and without (A2) water restriction, during three consecutive years. A square lattice design (6x6), with 6 common treatments and 4 replicates, was used. The characteristics of potential grain productivity (PGp), grain productivity under water stress (PGs), male (MF) and female (FF) flowering, plant height (PH) and cob height (CH) were evaluated. The susceptibility to drought index (SDI), water stress tolerance (WST), resistance to drought coefficient (DC), resistance to water stress coefficient (RSC), water stress tolerance index (TSI) and harmonic mean (HM) were also evaluated. There was difference between the hybrids and environments for all evaluated characteristics. Hybrids 3, 5, 6, 32 and 86 presented potential for use for evaluating and identifying corn hybrids more productive in environments with and without water restriction.

Keywords: *Zea mays*. Water deficit. Resistance to drought.

1 INTRODUÇÃO

Dentre os diferentes estresses abióticos que afetam e reduzem a produtividade dos principais cereais produzidos no mundo, o estresse hídrico é o fator com o maior impacto para a produção estável, principalmente nos países tropicais (MIR et al., 2012; PARENT et al., 2015).

Visando amenizar as perdas de produtividade das culturas sob estresse hídrico, recentes pesquisas têm buscado identificar as melhores épocas de semeadura e populações de plantas mais adequadas (COOPER et al., 2014). A identificação e desenvolvimento de híbridos de milho mais tolerantes à seca através do melhoramento genético também é uma importante estratégia, sendo (COOPER et al., 2014; GAFFNEY et al., 2015) adotada por várias instituições de pesquisa; avanços no melhoramento genético para tolerância ao déficit hídrico têm sido alcançados, através da associação entre técnicas de melhoramento convencional de plantas (COOPER et al., 2014), técnicas moleculares e de identificação de QTLs (ALMEIDA et al., 2014) e também pela utilização de híbridos transgênicos (CHANG et al., 2014; JEONG et al., 2010; ZHANG et al., 2010).

Porém, a tolerância à seca das culturas é provavelmente a característica que apresenta a maior dificuldade de ser identificada com alta precisão, uma vez que a produtividade de grãos é uma característica complexa e existe grande influência da interação genótipos por ambientes (LOPES et al., 2011), além de mecanismos associados à heterose. Assim, na ausência de informações precisas sobre o completo mecanismo genético da tolerância à seca em milho, algumas características secundárias da planta têm sido utilizadas como critérios de seleção, tais como características relacionadas ao florescimento masculino e feminino (HAO et al., 2011), mecanismos morfológicos das folhas (LIU et al., 2005) e desenvolvimento do sistema radicular da planta (JIANG et al., 2012).

Além disso, alguns métodos de avaliação e seleção de genótipos tolerantes ao déficit hídrico têm sido utilizados em culturas como trigo e cevada com eficiência. Estes métodos referem-se a índices de tolerância obtidos a partir das produtividades dos genótipos em ambientes com e sem restrição hídrica (MORADI et al., 2012).

Nesse sentido, Fischer e Maurer (1978) definiram o índice de susceptibilidade à seca (ISS) para avaliar a tolerância ao déficit hídrico em genótipos de trigo. Posteriormente, Rosielle e Hamblin (1981) propuseram um critério de seleção para definir a tolerância ao déficit hídrico com base na produtividade média (PM) e tolerância ao estresse (TOL) em ambientes com e sem restrição hídrica. Em 1984, foi proposto o coeficiente de resistência à seca (CS) (BLUM, 1984) para avaliar genótipos tolerantes ao estresse hídrico. Em seguida, Lan (1998) e Fernandez (1992) propuseram o índice de resistência à seca (IRS) e o índice de tolerância ao estresse (ITS), respectivamente. Mais recentemente, Sio-Se Mardeh et al. (2006) propuseram um índice de tolerância baseado na média harmônica (MH) de produtividade dos genótipos em avaliação.

Entretanto, na cultura do milho, estes índices de tolerância têm sido pouco explorados, principalmente no Brasil. Portanto, há potencial para a utilização destes índices como mais uma ferramenta de auxílio na identificação e desenvolvimento de híbridos de milho tolerantes ao estresse hídrico.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi identificar os híbridos superiores e índices mais adequados para a tolerância ao estresse hídrico de híbridos de milho em ambientes com e sem restrição hídrica.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Instalação e condução dos ensaios

Os experimentos foram instalados em área da Estação Experimental da Embrapa Milho e Sorgo, em Nova Porteirinha, no estado de Minas Gerais, nos anos de 2011, 2012 e 2013. O clima local é tropical mesotérmico, quase megatérmico, em função da altitude, com características de sub-úmido e semi-árido, apresentando chuvas irregulares, ocasionando longos períodos de seca.

A semeadura foi realizada no mês de maio de cada ano, sob sistema de irrigação por gotejamento. O estresse hídrico foi imposto através da suspensão da irrigação nas parcelas do ambiente com restrição hídrica (A1) aos 45 dias após a semeadura (45 DAS), permanecendo até a colheita. No ambiente sem restrição hídrica (A2), a irrigação foi realizada regularmente até o estágio R3, mantendo a capacidade de campo do solo.

O delineamento experimental utilizado a cada ano foi o látice com 36 tratamentos e seis tratamentos comuns (1I953, 1J1203, 2B707, 3H842, BRS1055 e 1J1132), com 4 repetições, sendo a repetição 3 uma duplicata da repetição 1 e a repetição 4 uma duplicata da repetição 2. As parcelas foram constituídas de uma linha de 4 metros de comprimento, com espaçamento entre linhas de 0,8 metros, sendo a área útil da parcela de 3,2 m². A população final de plantas foi de 60 mil plantas/ha.

Na adubação de semeadura utilizaram-se 400 kg.ha⁻¹ do fertilizante formulado NPK 8-28-16. Na adubação de cobertura foram utilizados 200 kg.ha⁻¹ de uréia, quando as plantas apresentavam-se no estágio de três (V3) e seis folhas completamente expandidas (V6).

Os demais tratos culturais foram realizados de acordo com a necessidade da cultura, buscando-se o máximo rendimento dos híbridos avaliados.

Foram avaliados 79 híbridos experimentais de milho do programa de melhoramento genético da Embrapa Milho e Sorgo e 7 híbridos de milho comerciais (Tabela 1).

2.2 Características avaliadas

Foram avaliadas as seguintes características:

Produtividade de grãos de cada híbrido nos ambientes com (PGs) e sem restrição hídrica (PGp), a média de produtividade de grãos no ambiente com restrição (PGms) e sem restrição hídrica (PGm). A produtividade foi obtida em gramas por parcela e posteriormente transformada em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, a 13% de umidade, através da expressão:

$$PG = PP \times \left(\frac{10000}{AU} \right) \times \left(\frac{100 - U}{87} \right)$$

Onde:

PG: produtividade de grãos em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, a 13% de umidade.

PP: peso de grãos em kg por parcela.

AU: área útil da parcela, em m^2 .

U: umidade dos grãos no momento da colheita, em %.

Florescimento maculino (FM): valores referentes a dias após a semeadura, onde 50% das plantas da parcela apresentavam-se com pendões liberando pólen.

Florescimento feminino (FF): valores referentes a dias após a semeadura, onde 50% das plantas da parcela apresentavam-se com estilo-estigmas visíveis nas espigas.

Altura de planta (AP): altura média de cinco plantas representativas da parcela, obtidas através da medição da distância do solo até a lígula da folha bandeira.

Altura de espiga (AE): altura média de inserção de espigas em cinco plantas representativas da parcela, obtidas através da medição da distância do solo até a inserção da espiga superior da planta.

Os índices de tolerância ao estresse hídrico obtidos foram:

Índice de susceptibilidade à seca (ISS), segundo Fischer e Maurer (1978), através da expressão:

$$ISS = \frac{\left(1 - \frac{PGs}{PGp}\right)}{\left(1 - \frac{PGms}{PGmp}\right)}$$

Tolerância ao estresse hídrico (TOL), segundo Rosielle e Hamblin (1981), através da expressão:

$$TOL = PGp - PGs$$

Coefficiente de resistência à seca (CS), segundo Blum (1984), através da expressão:

$$CS = \frac{PGs}{PGp}$$

Índice de resistência ao estresse hídrico (IRS), segundo Lan (1998), através da expressão:

$$IRS = PGs \times \frac{\left(\frac{PGs}{PGp}\right)}{PGms}$$

Índice de tolerância ao estresse hídrico (ITS), segundo Fernandez (1992), através da expressão:

$$ITS = \left(\frac{PGp}{PGmp} \right) \times \left(\frac{PGs}{PGms} \right) \times \left(\frac{PGms}{PGmp} \right)$$

Média harmônica (MH), segundo Sio-Se Mardeh et al. (2006), através da expressão:

$$MH = 2 \times \frac{(PGp \times PGs)}{(PGp + PGs)}$$

2.3 Análise estatística

Inicialmente realizaram-se as análises de variâncias individuais. Após a verificação da homogeneidade das variâncias pela razão dos quadrados médios, realizou-se a análise de variância conjunta considerando os ambientes com (A1) e sem restrição hídrica (A2).

Para as características PGs, PGp, FM, FF, AP e AE, as médias foram avaliadas pelo teste de Scott Knott, a 5% de probabilidade.

Foram estabelecidas análises de correlações de Spearman entre as características PGs, PGp, PGm e os índices de tolerância ao estresse hídrico ISS, TOL, CS, IRS, ITS e MH.

As análises estatísticas foram realizadas através do software estatístico R (R CORE TEAM, 2013).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve uma baixa precipitação durante o período de desenvolvimento das plantas no campo (Figura 1). No ano de 2012, houve a ocorrência de chuvas em maior magnitude. Porém, quando se considera que o estresse foi imposto somente 45 dias após a semeadura (DAE), ou seja, quando as plantas estavam no mês de junho, provavelmente essa maior precipitação não tenha influenciado a eficiência de discriminação dos híbridos avaliados sob estresse hídrico, apesar de a PG ter sido relativamente maior em comparação aos outros anos de avaliação. Nesse contexto, Cooper et al. (2014) e Makumbi et al. (2011) destacaram que a capacidade de discriminação de híbridos de milho com maior PG sob condições não favoráveis nos estádios de crescimento vegetativo e, principalmente, nos estádios reprodutivos é eficiente e que para isso, há a necessidade de que os ensaios conduzidos a nível de campo sejam desenvolvidos em ambientes com grande restrição de precipitação durante o desenvolvimento das plantas, corroborando com os resultados deste trabalho.

Foi verificada boa precisão na condução e avaliação dos experimentos, uma vez que o coeficiente de variação (C. V.) para todas as características avaliadas foi considerado de baixa magnitude (Tabela 2).

Houve diferença significativa entre os híbridos para todas as características avaliadas.

Na interação híbridos x ambientes foi observada significância para todas as características avaliadas, inferindo que os híbridos avaliados tiveram uma performance diferente nos ambientes com restrição hídrica (A1) e sem restrição hídrica (A2).

Para a característica AP, foram observados valores entre 1,88m (híbrido 51) a 2,65m (híbrido 3) no ambiente A1, com altura média de 2,28m. Para o ambiente A2, foram observados valores entre 2,10m (híbridos 42 e 81) a 2,75m (híbridos 3 e 84), com altura média de 2,43m (Tabela 3).

Para a característica AE, foram observados valores entre 0,90m (híbrido 42) a 1,58m (híbrido 14) no ambiente A1 e 1,00m (híbridos 55 e 72) a 1,65m (híbrido 86) no ambiente A2.

Em híbridos tropicais, aumentos na produtividade em ambientes com déficit hídrico têm sido associados, entre outros fatores, ao aumento do índice de colheita (IC). Nesse sentido, a correlação entre IC e AP é positiva, e a busca por híbridos de milho com menor AP em ambientes com baixa disponibilidade hídrica é eficiente (MONNOVEUX et al., 2008).

Para o ambiente A1, os dez híbridos com maiores PG foram 86, 71, 67, 63, 32, 15, 14, 12, 6 e 3. Esses híbridos apresentaram produtividade de grãos superior a $5800 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, o que representa um aumento de mais de 25% em relação a média geral neste ambiente com restrição hídrica. A PG neste ambiente variou entre $2199,58 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ e $7032,11 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, com PG média de $4606,45 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Tabela 4). Esses híbridos apresentaram potencial para serem utilizados em ambientes com baixa disponibilidade hídrica, uma vez que a PG foi semelhante ao híbrido tolerante 83 (SOUZA et al., 2013). Além disso, a obtenção de híbridos que apresentam boa PG em ambientes com restrição hídrica e um aumento significativo em ambientes sem restrição hídrica tem sido o objetivo de muitos programas de melhoramento genético (COOPER et al., 2014).

Esses resultados são ainda mais relevantes quando se considera que, no Brasil, a maior fração da produção de milho se concentra na segunda safra, onde as condições de disponibilidade hídrica não são as ideais, ocasionando drásticas reduções de produtividade em determinadas situações (CLÓVIS et al., 2015).

Para o ambiente A2, os dez híbridos que apresentaram maiores PG foram 86, 84, 78, 53, 11, 8, 7, 5, 3 e 2, com PG acima de $10000,00 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Neste ambiente, a PG variou entre $5000,01 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ e $12186,03 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, com produtividade média de $8532,04 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Entre o ambiente A2 e o ambiente A1, a redução na PG variou entre 8,13% (híbrido 45) e 67,38% (híbrido 52). A redução média, considerando-se a produtividade de grãos entre os ambientes com e sem restrição hídrica foi de 46%, o que demonstra a efetividade da imposição do estresse e a possibilidade de expressão de genes de resposta ao estresse no ambiente sob restrição hídrica. Nesse sentido, a identificação de híbridos de milho com menor redução na produtividade em ambientes estressantes infere em uma maior estabilidade de produção, o que também é desejável.

Para a característica FM, foram observados valores entre 61 dias (híbridos 1, 68 e 81) e 70 dias (híbrido 27) no ambiente A1. No ambiente A2, os valores variaram entre 59 dias (híbridos 36, 37, 49 e 79) e 68 dias (híbrido 14).

Para a característica FF, foram observados valores entre 64 dias (híbrido 81) e 70 dias (híbridos 27 e 52) no ambiente A1. No ambiente A2, foram observados valores entre 58 (híbrido 79) e 68 (híbridos 14).

Em ambientes com restrição hídrica, a diferença em dias entre FM e FF apresenta alta correlação negativa com PG (HAO et al., 2011; ZIYOMO; BERNARDO, 2013) e essa é uma característica secundária importante para a seleção de híbridos de milho tolerantes ao estresse hídrico. Nesta pesquisa, os híbridos que apresentaram maiores intervalos entre FM e FF (IFMF) foram os híbridos 42, 51, 41, 49, 32, 43, 7, 8, 33, 44 e 50, com -7,5, -7, -6, -5, -4,5, -4,5, -4, -4, -4, -4, respectivamente. A seleção de linhagens ou híbridos de milho com menor intervalo entre FM e FF tem permitido ganhos de seleção e impacto positivo sobre a tolerância ao déficit hídrico (DUBEY et al., 2010).

Para os índices ISS e TOL, menores valores indicam híbridos tolerantes ao déficit hídrico e selecionam mais eficientemente híbridos com maiores produtividades em ambientes com restrição hídrica. Porém, não apresentaram a mesma eficiência em ambientes sem restrição hídrica (JAFARI et al., 2009).

Para os índices CS, IRS, ITS e MH, maiores valores indicam híbridos tolerantes à restrição hídrica e apresentam maior eficiência em identificar híbridos superiores nos dois ambientes (HAO et al., 2011; JAFARI et al., 2009).

Nesta pesquisa, os valores encontrados variaram entre 3313,57 (híbrido 52) e 9241,93 (híbrido 86), para MH; entre 1298,02 (híbrido 36) e 7014,05 (híbrido 78), para TOL; entre 0,49 (híbrido 22) e 1,57 (híbrido 23), para ISS; entre 0,28 (híbrido 23) e 0,78 (híbridos 16 e 22), para CS; entre 0,16 (híbrido 52) e 1,14 (híbrido 6), para IRS; entre 0,21 (híbrido 52) e 1,30 (híbrido 86), para ITS (Tabela 5).

Os melhores híbridos identificados nesta pesquisa foram os híbridos 3, 5, 6, 32 e 86. Estes híbridos apresentaram boas PGp e PGs associadas a melhores valores de índices de tolerância ao estresse hídrico.

A análise do grau de associação entre características referentes a grupos de indivíduos pode ser realizada através de estimativas de correlação. Valores positivos indicam relação direta entre as características e valores negativos indicam relação inversa, variando de -1 a 1.

Foram observados elevados valores de correlação entre os índices de tolerância avaliados. Os maiores valores foram observados entre ISS e CS (-0,98) e entre ITS e MH (0,95) (Tabela 6).

O coeficiente de correlação entre PGs e PGp foi não significativo. De maneira geral, busca-se por híbridos de milho que apresentam coeficientes de correlação positivos e significativos entre essas características, inferindo que os híbridos que tem uma boa produtividade sob estresse hídrico podem aumentar significativamente sua produtividade de grãos em ambientes com boa disponibilidade hídrica (COOPER et al., 2014). Porém, em situações onde buscam-se híbridos para ambientes exclusivamente secos, essa correlação pode não ter tanta influência na seleção. Para estas situações, a utilização dos índices CS e TOL pode ser eficiente (HAO et al., 2011; JAFARI et al., 2009).

Apesar da baixa magnitude e da não significância entre PGp e PGs, verificou-se que é possível identificar híbridos que apresentem desempenho superior nas duas situações de cultivo (Gráfico 2). Os híbridos que foram plotados no quadrante superior direito do gráfico podem ser considerados mais tolerantes ao déficit hídrico por apresentarem produtividade acima da média do ambiente com restrição hídrica e também podem ser considerados responsivos a condições de maior disponibilidade hídrica, devido à produtividade de grãos média ser superior à média do ambiente sem restrição hídrica.

Para o PGs, foram observadas correlações altamente positivas (acima de 80%) e significativas com os índices IRS, ITS, MH e produtividade de grãos média, sugerindo que estes índices podem ser utilizados como critérios de avaliação secundários para a identificação de híbridos de milho que apresentam boa produtividade sob estresse hídrico. Entretanto, o IRS apresentou correlação muito próxima de zero com a PGp, o que não é interessante no processo de seleção, uma vez que se buscam híbridos de milho com produtividade de grãos superior nos dois ambientes.

Para a característica PGp, os coeficientes de maior magnitude (acima de 64%) e significativos foram observados com os índices TOL e ITS. Resultados semelhantes foram observados nas culturas de cevada (EIVAZI et al., 2013) e trigo (ANWAR et al., 2011), inferindo que estes índices podem ser utilizados de maneira efetiva em várias culturas vegetais.

Os coeficientes observados entre ISS e TOL, CS e IRS, ITS e MH foram elevados e significativos. Nesse sentido, a utilização de apenas um dos índices pode ser eficiente na avaliação de híbridos de milho nos ambientes A1 e A2.

Entre os índices ISS e CS, ISS e IRS, TOL e CS, verificaram-se coeficientes negativos e significativos de alta magnitude. Esses resultados corroboram com os encontrados por Hao et al. (2011). Assim, estes índices

podem ser utilizados na avaliação de híbridos de milho com eficiência, uma vez que apresentam boa complementariedade.

De maneira geral, para a avaliação de híbridos de milho em ambientes com e sem restrição hídrica, os índices ITS e MH podem ser utilizados eficientemente. Verificaram-se que esses índices apresentaram alta correlação positiva e significativa com a PGs e PGp.

4 CONCLUSÕES

Os híbridos 3 (1I862), 5 (1I873), 6 (1I923), 32 (1J1211) e 86 (P3862) apresentam potencial para serem utilizados em ambientes com e sem restrição hídrica.

Os índices ITS e MH podem ser utilizados na avaliação e identificação de híbridos de milho mais produtivos em ambientes com e sem restrição hídrica.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, G. D. et al. Molecular mapping across three populations reveals a QTL hotspot region on chromosome 3 for secondary traits associated with drought tolerance in tropical maize. **Molecular Breeding**, Dordrecht, v. 34, n. 2, p. 701–715, Aug. 2014.
- ANWAR, J. et al. Drought tolerance indices and their correlation with yield in exotic wheat genotypes. **Pakistan Journal of Botany**, Essex, v. 43, n. 3, p. 1527-1530, May 2011.
- BLUM, A. Breeding crop varieties for stress environments. **Critical Reviews in Plant Sciences**, Oxford, v. 2, n. 3, p. 199–238, Dec. 1984.
- CHANG, J. et al. Water stress impacts on transgenic drought-tolerant corn in the northern great plains. **Agronomy Journal**, Madison, v. 106, p. 125-130, 2014.
- CLÓVIS, L. R. et al. Avaliação de linhagens S3 de milho por meio de testadores adaptados à safrinha. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 28, n. 1, p. 109-120, jan./mar. 2015.
- COOPER, M. et al. Breeding drought-tolerant maize hybrids for the US Cornbelt: discovery to product. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 65, p. 6191–6204, Mar. 2014.
- DUBEY, L. et al. Phenotypic evaluation of a set selected exotic maize inbred lines for drought stress tolerance. **Indian Journal of Genetics and Plant Breeding**, New Delhi, v. 70, p. 355–362. 2010.
- EIVAZI, A. R. et al. Effective selection criteria for assessing drought tolerance indices in barley (*Hordeum vulgare* L.) accessions. **International Journal of Agronomy & Plant Production**, Essex, v. 4, n. 4, p. 813-821, 2013.
- FERNANDEZ, G. C. J. Effective selection criteria for assessing stress tolerance. In: KUO, C. G. (Ed.). **Proceedings of the international symposium on adaptation of vegetables and other food crops in temperature and water stress**. Taiwan: AVRDC, 1992. p. 257-270.
- FISCHER, R. A.; MAURER, R. Drought resistance in spring wheat cultivar, I: grain yield responses. **Australian Journal of Agricultural Research**, Victoria, v. 29, n. 5, p. 897-912. 1978.

GAFFNEY, J. et al. Industry-scale evaluation of maize hybrids selected for increased yield in drought-stress conditions of the US corn belt. **Crop Science**, Madison, v. 55, p. 1608-1618, June 2015.

HAO, Z. et al. Identification of functional genetic variations underlying drought tolerance in maize using SNP markers. **Plant Biology**, Stuttgart, v. 53, n. 8, p. 641–652, May 2011.

JAFARI, A. et al. Evaluation of selection indices for drought tolerance of corn (*Zea mays* L.) hybrids. **International Journal of Plant Production**, New York, v. 3, n. 4, p. 124-131, Sept. 2009.

JEONG, J. S. et al. Root-specific expression of OsNAC10 improves drought tolerance and grain yield in rice under field drought conditions. **Plant Physiology**, Washington, v. 153, p. 185-197, Aug. 2010.

JIANG, T. et al. Root morphology and gene expression analysis in response to drought stress in maize (*Zea mays*). **Plant Molecular Biology Reporter**, Athens, v. 30, n. 2, p. 360–369, Apr. 2012.

LAN, J. Comparison of evaluating methods for agronomic drought resistance in crops. **Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica**, Washington, v. 7, p. 85–87, 1998.

LIU, Y. et al. Maize leaf temperature responses to drought: thermal imaging and quantitative trait loci (QTL) mapping. **Environmental and Experimental Botany**, Elmsford, v. 71, n. 2, p. 158–165, June 2011.

LOPES, M. S. et al. Enhancing drought tolerance in C4 crops. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 62, n. 9, p. 3135–3153, Apr. 2011.

MAKUMBI, D. et al. Combining ability, heterosis and genetic diversity in tropical maize (*Zea mays* L.) under stress and non-stress conditions. **Euphytica**, Wageningen, v. 180, n. 2, p. 143-162, July 2011.

MARDEH, A. S.-S. et al. Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 98, n. 2/3, p. 222-229, Aug. 2006.

MIR, R. R. et al. Integrated genomics, physiology and breeding approaches for improving drought tolerance in crops. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 125, n. 4, p. 625–645, Aug. 2012.

MONNEVEUX, P. et al. Future progress in drought tolerance in maize needs new secondary traits and cross combinations. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 146, n. 3, p. 287–300, June 2008.

MORADI, H. et al. Evaluation of drought tolerance in corn (*Zea mays* L.) new hybrids with using stress tolerance indices. **European Journal of Sustainable Development**, Easton, v. 1, n. 3, p. 543-560, 2012.

PARENT, B. et al. Combining field performance with controlled environment plant imaging to identify the genetic control of growth and transpiration underlying yield response to water-deficit stress in wheat. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 2, p. 1-12, July 2015.

R CORE TEAM. **R**: a language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2013. Disponível em: <<http://www.R-project.org/>>. Acesso em: 12 maio 2015.

ROSIELLE, A. A.; HAMBLIN, J. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. **Crop Science**, Madison, v. 21, n. 6, p. 943-948, Oct. 1981.

SOUZA, T. C. et al. Morphophysiology, morphoanatomy, and grain yield under field conditions for two maize hybrids with contrasting response to drought stress. **Acta Physiologiae Plantarum**, New York, v. 35, n. 11, p. 3201-3211, 2013.

SOUZA, T. C.; MAGALHÃES, P. C. Mecanismos fisiológicos de tolerância e avaliação do estresse hídrico em milho. In: PATERNIANI, M. E. A. G. Z.; DUARTE, A. P.; TSUNECHIRO, A. **Diversidades e inovações na cadeia produtiva de milho e sorgo na era dos transgênicos**. Campinas: Instituto Agrônomico, 2012. Cap. 3, p. 35-64.

THOMPSON, R. et al. A sparse implementation of the average information algorithm for factor analytic and reduced rank variance models. **Biometrics**, Washington, v. 45, n. 4, p. 445-459, Oct. 2003.

ZHANG, S. et al. Over-expression of TsCBF1 gene confers improved drought tolerance in transgenic maize. **Molecular Breeding**, Dordrecht, v. 26, n. 3, p. 455-465, Oct. 2010.

ZIYOMO, C.; BERNARDO, R. Drought tolerance in maize: indirect selection through secondary traits versus genome wide selection. **Crop Science**, Madison, v. 53, n. 4, p. 1269–1275, Apr. 2013.

ANEXO A – GRÁFICOS E TABELAS

Figura 1 - Temperatura máxima média (Temp max), temperatura mínima média (Temp min) e precipitação durante os meses de desenvolvimento dos experimentos à nível de campo. UFLA, Lavras, MG, 2016. Fonte: Rede de Dados do INMET (2015)

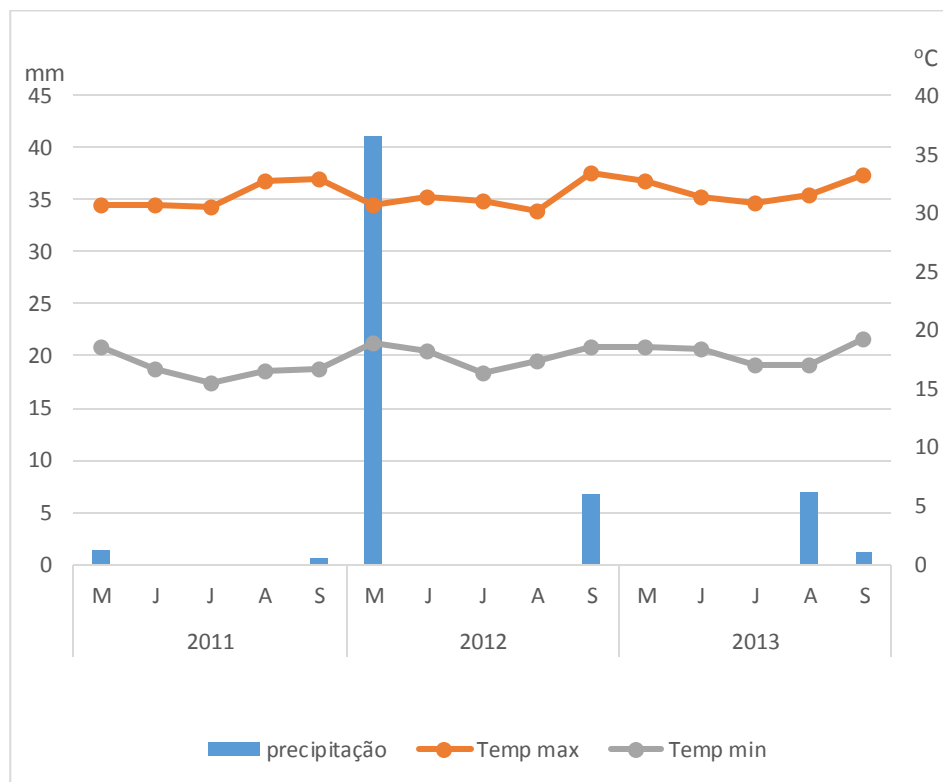


Figura 2 - Dispersão da produtividade média de grãos (PG) de 86 híbridos de milho em ambientes com e sem restrição hídrica. Fonte: UFLA, 2016.

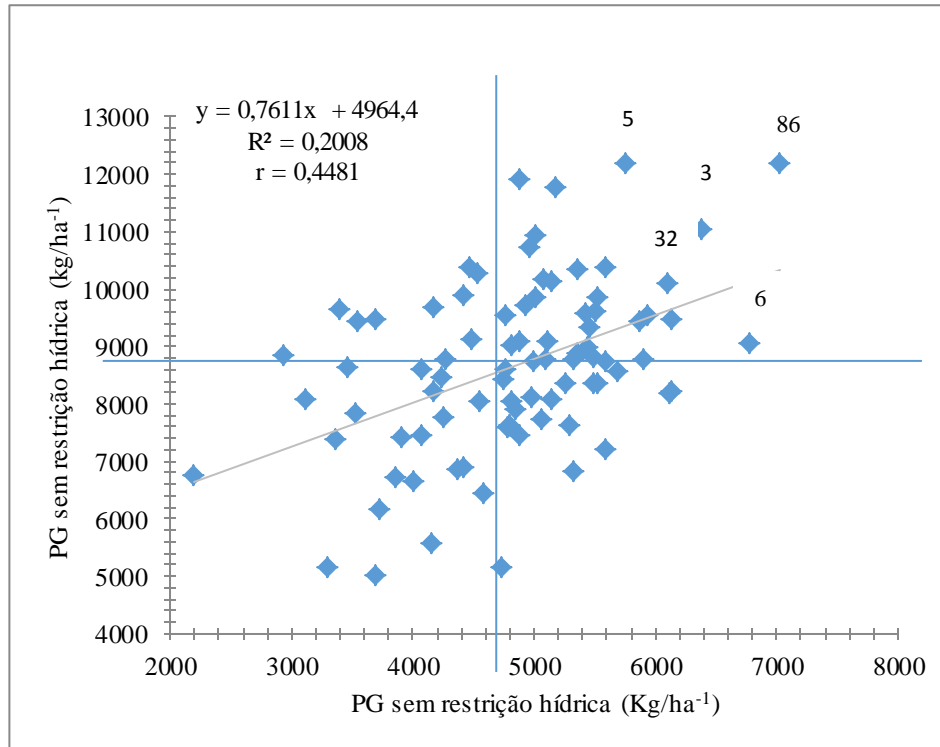


Tabela 1 - Código e identificação dos híbridos de milho utilizados. UFLA, Lavras, MG, 2016.

Cód.	Híbrido	Cód.	Híbrido	Cód.	Híbrido	Cód.	Híbrido
1	1F632	23	1J1176	45	1K1306	67	1L1454
2	1H795	24	1J1177	46	1K1322	68	1L1455
3	1I862	25	1J1183	47	1K1323	69	1L1457
4	1I864	26	1J1186	48	1K1324	70	1L1467
5	1I873	27	1J1197	49	1K1331	71	1L1473
6	1I923	28	1J1203*	50	1K1341	72	1L1477
7	1I931	29	1J1206	51	1K1343	73	1L1484
8	1I934	30	1J1208	52	1K1346	74	1L1487
9	1I953*	31	1J1209	53	1K1348	75	1L1493
10	1I977	32	1J1211	54	1K1352	76	1L1496
11	1J1120	33	1K1245	55	1K1353	77	1L1500
12	1J1121	34	1K1250	56	1L1395	78	2B707*
13	1J1132*	35	1K1251	57	1L1397	79	2K1265
14	1J1133	36	1K1267	58	1L1401	80	3H842*
15	1J1143	37	1K1271	59	1L1404	81	AG8088
16	1J1144	38	1K1272	60	1L1408	82	BRS1055*
17	1J1150	39	1K1277	61	1L1409	83	DKB390
18	1J1158	40	1K1284	62	1L1411	84	P30F35
19	1J1164	41	1K1285	63	1L1434	85	P30F53
20	1J1166	42	1K1286	64	1L1439	86	P3862
21	1J1167	43	1K1294	65	1L1449		
22	1J1171	44	1K1301	66	1L1452		

*híbridos utilizados como tratamentos comuns em todos os anos de avaliação.

Fonte: Do autor (2016)

Tabela 2 - Resumo do quadro de análise de variância conjunta para as características de florescimento masculino (FM), florescimento feminino (FF), altura de planta (AP), altura de espiga (AE) e produtividade de grãos (PG), de 86 híbridos de milho, em ambientes com (A1) e sem (A2) restrição hídrica. UFLA, Lavras, MG, 2016.

Fonte de Variação	GL	FM	FF	AP	AE	PG
Híbridos (ajust.)	85	35,62**	23,19**	560,23**	432,28*	1680408,01**
Ambientes	5	29,78**	33,34*	816,75**	100,35**	767542730,02**
Híbridos x Ambientes	425	2,33**	1,91*	72,82*	70,88*	1074714,12**
Erro efetivo	517	0,79	0,68	90,89	89,83	901386,57
Média		63,2	64,18	2,35	1,28	6569,45
C.V. (%)		3,67	4,35	7,91	9,23	15,59

* e **significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

Fonte: Do autor (2016)

Tabela 3 - Resumo do quadro de análise de variância para o Índice de susceptibilidade à seca (ISS), tolerância ao estresse hídrico (TOL), coeficiente de resistência à seca (CS), índice de resistência ao estresse hídrico (IRS), índice de tolerância ao estresse hídrico (ITS) e média harmônica (MH) de 86 híbridos de milho. UFLA, Lavras, MG, 2016.

Fonte de Variação	GL	ISS	TOL	CS	IRS	ITS	MH
Híbridos	85	0,145**	2149101,54*	0,022**	0,076*	0,030**	3756419,4**
Erro	425	0,069	1333642	0,01	0,029	0,015	421588,7
Média		0,97	3264,94	0,61	0,62	0,6	6132,42
C.V. (%)		14,56	19,27	16,89	18,21	20,35	10,59

Fonte: Do autor (2016)

Tabela 4 - Altura de Planta (AP) e altura de espiga (AE) de 86 híbridos de milho, em ambientes com (A1) e sem (A2) restrição hídrica. UFLA, Lavras, MG, 2016. (continua)

Cód.	AP		AE	
	A1	A2	A1	A2
1	2,40 bA	2,40 bA	1,35 bA	1,20 aA
2	2,45 bA	2,55 cA	1,38bA	1,38 bA
3	2,65 bA	2,75 dA	1,50bA	1,53 bA
4	2,43 bA	2,70 dB	1,40bA	1,48 bA
5	2,25 aA	2,50 cB	1,20aA	1,53 bB
6	2,48 bA	2,55 cA	1,53 bA	1,50 bA
7	2,50 bA	2,60 cA	1,48 bA	1,55 bA
8	2,40 bA	2,45 bA	1,33 bA	1,35 bA
9	2,50 bA	2,72 dA	1,48 bA	1,48 bA
10	2,10 aA	2,24 cB	1,20 aA	1,35 bA
11	2,45 bA	2,70 dB	1,38 bA	1,48 bA
12	2,38 bA	2,55 cA	1,38 bA	1,50 bA
13	2,48 bA	2,65 dA	1,45 bA	1,53 bA
14	2,63 bA	2,70 dA	1,58 bA	1,55 bA
15	2,55 bA	2,65 dA	1,35 bA	1,35 bA
16	2,40 bA	2,45 bA	1,30 b A	1,35 bA
17	2,45 bA	2,50 cA	1,48 bA	1,45 bA
18	2,50 bA	2,40 bA	1,45 bA	1,40 bA
19	2,45 bA	2,70 dB	1,53 bA	1,60 bA
20	2,40 bA	2,50 cA	1,25 aA	1,25 aA
21	2,43 bA	2,67 dA	1,20 aA	1,20 aA
22	2,35 bA	2,45 bA	1,40 bA	1,35 bA
23	2,60 bA	2,62 dA	1,45 bA	1,40 bA
24	2,40 bA	2,60 cA	1,30 bA	1,35 bA
25	2,55 bA	2,60 cA	1,48 bA	1,50 bA
26	2,53 bA	2,70 dA	1,53 bA	1,60 bA
27	2,60 bA	2,65 dA	1,45 bA	1,35 b
28	2,55 bA	2,65 dA	1,35 bA	1,30 aA

Tabela 4 - Altura de Planta (AP) e altura de espiga (AE) de 86 híbridos de milho, em ambientes com (A1) e sem (A2) restrição hídrica. UFLA, Lavras, MG, 2016. (continuação)

Cód.	AP		AE	
	A1	A2	A1	A2
29	2,45 bA	2,35 bA	1,40 bA	1,25 aA
30	2,63 bA	2,60 cA	1,40 bA	1,35 bA
31	2,23 aA	2,30 aA	1,20 aA	1,28 aA
32	2,35 bA	2,45 bA	1,38 bA	1,25 aA
33	2,20 aA	2,37 bA	1,10 aA	1,20 aA
34	2,23 aA	2,40 bA	1,20 aA	1,30 bA
35	2,43 bA	2,45 bA	1,35 bA	1,40 bA
36	2,08 aA	2,15 aA	1,03 aA	1,05 aA
37	2,08 aA	2,25 aA	1,05 aA	1,15 aA
38	2,20 aA	2,25 aA	1,15 aA	1,10 aA
39	2,20 bA	2,65 dB	1,30 bA	1,30 aA
40	2,10 aA	2,30 aA	1,00 aA	1,20 aA
41	2,10 aA	2,40 bB	1,13 aA	1,33 bA
42	1,95 aA	2,10 aA	0,90 aA	1,05 aA
43	2,13 aA	2,30 aA	1,08 aA	1,25 aA
44	2,18 aA	2,40 bB	1,15 aA	1,35 bA
45	2,28 aA	2,65 dB	1,15 aA	1,50 bB
46	2,28 aA	2,35 bA	1,23 aA	1,30 aA
47	2,03 aA	2,40 bB	1,15 aA	1,40 bB
48	2,20 aA	2,35 bA	1,18 aA	1,35 bA
49	2,23 aA	2,50 cB	1,15 aA	1,40 bB
50	2,08 aA	2,30 aB	1,08 aA	1,15 aA
51	1,88 aA	2,25 aB	0,92 aA	1,08 aA
52	2,00 aA	2,20 aA	1,00 aA	1,15 aA
53	2,13 aA	2,35 bB	1,10 aA	1,25 aA
54	1,98 aA	2,45 cB	1,00 aA	1,25 aB
55	2,13 aA	2,25 aA	1,10 aA	1,00 aA
56	2,23 aA	2,25 aA	1,10 aA	1,15 aA
57	2,20 aA	2,20 aA	1,20 aA	1,25 aA

Tabela 4 - Altura de Planta (AP) e altura de espiga (AE) de 86 híbridos de milho, em ambientes com (A1) e sem (A2) restrição hídrica. UFLA, Lavras, MG, 2016. (conclusão)

Cód.	AP		AE	
	A1	A2	A1	A2
58	2,18 aA	2,20 aA	1,20 aA	1,18 aA
59	2,30 aA	2,35 bA	1,25 aA	1,28 aA
60	2,28 aA	2,45 bA	1,28 aA	1,43 bA
61	2,20 aA	2,25 aA	1,10 aA	1,20 aA
62	2,35 bA	2,50 cA	1,28 aA	1,30 aA
63	2,20 aA	2,40 bA	1,15 aA	1,30 aA
64	2,33 bA	2,35 bA	1,25 aA	1,25 aA
66	2,35 bA	2,25 aA	1,30 bA	1,15 aA
67	2,45 bA	2,35 bA	1,25 aA	1,30 aA
68	2,10 aA	2,20 aA	1,08 aA	1,05 aA
69	2,18 aA	2,25 aA	1,18 aA	1,10 aA
70	2,23 aA	2,25 aA	1,10 aA	1,25 aA
71	2,33 bA	2,25 aA	1,25 aA	1,15 aA
72	2,25 aA	2,25 aA	1,15 aA	1,00 aA
73	2,33 bA	2,40 bA	1,23 aA	1,20 aA
74	2,35 bA	2,35 bA	1,20 aA	1,23 aA
75	2,23 aA	2,30 aA	1,20 aA	1,18 aA
76	2,43 bA	2,45 bA	1,38 bA	1,23 aA
77	2,38 bA	2,45 bA	1,40 bA	1,43 bA
78	2,25 aA	2,50 cB	1,33 bA	1,45 bA
79	2,20 aA	2,30 aA	1,13 aA	1,20 aA
80	2,35 bA	2,50 cA	1,38 bA	1,43 bA
81	2,13 aA	2,10 aA	1,20 aA	1,10 aA
82	2,60 bA	2,70 dA	1,55 bA	1,45 bA
83	2,20 aA	2,15 aA	1,38 bA	1,30 aA
84	2,60 bA	2,75 dA	1,53 bA	1,50 bA
85	1,98 aA	2,25 aB	1,00 aA	1,35 bB
86	2,63 bA	2,70 dA	1,50 bA	1,65 bA
Média	2,43 A	2,28 B	1,31 A	1,26 A

¹Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2016)

Tabela 5 - Florescimento masculino (FM) e feminino (FF), produtividade de grãos (PG) e porcentagem de redução (%Red) de 86 híbridos de milho, em ambientes com (A1) e sem (A2) restrição hídrica. UFLA, Lavras, MG, 2016. (continua)

Cód.	FM		FF		PG		%Red
	A1	A2	A1	A2	A1	A2	
1	61 aA	61 aA	63 aA	62 cA	5420,26 aB	9552,77 bA	43,26
2	68 bB	65 cA	68 dB	66 eA	4959,55 aB	10713,50 bA	53,71
3	64 aA	63 bA	65 bA	64 dA	6388,99 aB	11043,96 bA	42,15
4	66 bB	63 bA	66 cB	63 dA	4492,48 bB	9102,48 bA	50,65
5	63 aA	62 bA	63 aA	65 dA	5755,79 aB	12171,07 aA	52,71
6	62 aA	61 aA	63 aA	63 cA	6788,99 aB	9033,13 bA	24,84
7	64 aA	62 bA	65 bA	65 dA	5008,98 aB	10939,32 bA	54,21
8	63 aA	62 bA	64 bA	64 dA	5600,06 aB	10385,01 bA	46,08
9	62 aA	62 bA	63 aA	62 cA	5089,50 aB	10176,99 bA	49,99
10	67 bA	66 dA	66 cA	66 eA	4543,39 bB	10281,07 bA	55,81
11	68 bA	67 dA	68 dA	66 eA	5370,21 aB	10331,99 bA	48,02
12	66 bA	66 dA	66 cA	66 eA	5903,22 aB	8754,22 bA	32,57
13	66 bA	66 dA	67 cA	66 eA	4167,21 bB	9674,57 bA	56,93
14	68 bA	68 dA	68 dA	68 eA	6142,74 aB	9466,52 bA	35,11
15	63 aA	63 bA	65 bA	64 dA	5946,20 aB	9535,42 bA	37,64
16	64 aA	64 cA	65 bA	64 dA	5323,70 aA	6831,22 cA	22,07
17	67 bA	66 dA	67 cA	66 eA	5493,08 aB	8789,73 bA	37,51
18	65 bB	63 bA	66 cA	64 dA	4975,90 aB	8096,81 cA	38,54
19	65 bA	64 cA	65 bA	66 eA	5147,95 aB	10125,54 bA	49,16
20	67 bA	65 cA	68 dB	65 eA	2935,51 bB	8825,03 bA	66,74
21	66 bA	66 dA	66 cA	65 dA	5014,13 aB	9846,53 bA	49,08
22	64 bA	62 bA	65 bB	62 cA	5598,68 aA	7195,03 cA	22,19
23	65 bA	63 bA	66 cA	65 eA	3542,13 bB	9411,02 bA	62,36
24	65 bA	63 bA	65 bA	64 dA	4789,87 aB	7593,68 cA	36,92
25	66 bA	66 dA	67 cA	66 eA	5685,35 aB	8547,50 bA	33,49
26	65 bA	65 cA	66 cA	64 dA	5322,42 aB	8772,61 bA	39,33
27	70 bB	66 dA	70 dA	67 eA	3539,22 bB	7836,16 cA	54,83
28	63 aA	65 cA	64 bA	66 eA	4416,71 bB	9864,42 bA	55,23
29	65 bA	65 cA	65 bA	65 eA	5362,79 aB	8876,87 bA	39,59

Tabela 5 - Florescimento masculino (FM) e feminino (FF), produtividade de grãos (PG) e porcentagem de redução (%Red) de 86 híbridos de milho, em ambientes com (A1) e sem (A2) restrição hídrica. UFLA, Lavras, MG, 2016. (continuação)

Cód.	FM		FF		PG		%Red
	A1	A2	A1	A2	A1	A2	
30	66 bA	66 dA	66 cA	64 dA	4934,23 aB	9709,46 bA	49,18
31	64 aB	61 aA	65 bB	62 cA	3861,07 bB	6718,75 cA	42,53
32	63 aA	62 bA	65 bA	64 dA	6100,48 aB	10090,16 bA	39,54
33	62 aA	60 aA	65 bB	61 bA	4555,62 bB	8039,07 cA	43,33
34	64 aB	60 aA	63 aB	59 aA	4586,43 bA	6445,32 cA	28,84
35	64 aA	63 bA	64 bA	64 dA	5140,58 aB	8060,58 cA	36,23
36	63 aB	59 aA	64 aB	59 aA	3701,99 bA	5000,01 cA	25,96
37	63 aB	59 aA	63 aB	59 aA	4246,09 bB	8437,51 bA	49,68
38	62 aB	60 aA	65 bB	59 aA	3734,32 bB	6156,25 cA	39,34
39	66 bA	64 cA	66 cB	62 bA	4775,71 aB	9523,44 bA	49,85
40	64 aB	62 bA	68 dB	61 bA	4074,10 bB	7453,13 cA	45,34
41	65 bB	61 aA	68 dB	63 cA	4014,41 bB	6648,44 cA	39,62
42	63 aB	60 aA	69 dB	61 bA	3396,26 bB	9632,82 bA	64,74
43	64 aB	61 aA	66 cB	63 cA	4796,76 aB	7632,82 cA	37,16
44	66 bB	63 bA	69 dB	63 cA	4068,75 bB	8585,94 bA	52,61
45	63 aA	61 aA	65 bB	61 bA	4737,13 aA	5156,26 cA	8,13
46	64 aB	61 aA	65 bB	60 aA	5288,43 aA	7617,19 cA	30,57
47	65 bB	60 aA	68 dB	60 aA	4374,14 bB	6851,57 cA	36,16
48	63 aB	61 aA	65 bB	60 aA	4857,84 aB	7882,82 cA	38,37
49	64 aB	59 aA	67 cB	61 bA	4164,57 bA	5546,88 cA	24,92
50	62 aA	61 aA	66 cB	61 bA	4167,94 bB	8203,13 cA	49,19
51	64 aB	61 aA	67 cB	64 dA	3916,65 bB	7398,44 cA	47,06
52	67 bA	65 cA	70 dB	64 dA	2199,58 bB	6734,38 cA	67,34
53	65 bB	60 aA	67 cB	61 bA	4479,45 bB	10367,19 bA	56,79
54	67 bB	63 bA	69 dB	63 cA	3120,77 bB	8078,13 cA	61,37
55	66 bB	62 bA	68 dB	63 cA	3457,26 bB	8630,56 bA	59,94
56	67 bA	65 cA	68 dA	67 eA	4876,18 aB	9092,52 bA	46,37
57	66 bB	63 bA	66 cA	65 dA	5531,04 aB	9829,08 bA	43,73
58	66 bA	67 dA	66 cA	67 eA	4421,44 bB	6870,59 cA	35,65

Tabela 5 - Florescimento masculino (FM) e feminino (FF), produtividade de grãos (PG) e porcentagem de redução (%Red) de 86 híbridos de milho, em ambientes com (A1) e sem (A2) restrição hídrica. UFLA, Lavras, MG, 2016. (conclusão)

Cód.	FM		FF		PG		%Red
	A1	A2	A1	A2	A1	A2	
59	64 aA	64 cA	66 cA	64 dA	4999,13 aB	8747,18 bA	42,85
60	66 bA	67 dA	68 dB	66 eA	3696,20 bB	9456,58 bA	60,91
61	66 bA	67 dA	68 dA	66 eA	4271,52 bB	8770,66 bA	51,30
62	63 aA	64 cA	64 aA	64 dA	5270,56 aB	8340,72 bA	36,81
63	63 aA	63 bA	64 bA	63 cA	6133,37 aA	8215,02 cA	25,34
64	64 aA	62 bA	63 aA	63 cA	5496,68 aB	8359,94 bA	34,25
65	63 aA	64 cA	66 cB	64 dA	3359,71 bB	7384,89 cA	54,51
66	64 aA	63 bA	64 bA	64 dA	4250,24 bB	7748,41 cA	45,15
67	66 aA	65 cA	66 cA	64 dA	5872,45 aB	9429,65 bA	37,72
68	61 aA	61 aA	62 aA	61 bA	4750,30 aB	8408,80 bA	43,51
69	66 bA	64 cA	66 cA	65 dA	5114,43 aB	9075,12 bA	43,64
70	66 bA	66 dA	67 cA	66 eA	5066,89 aB	7710,01 cA	34,28
71	64 aA	64 cA	65 bA	63 dA	6118,07 aA	8178,32 cA	25,19
72	66 bA	66 dA	67 cA	65 dA	4814,47 aB	8047,04 cA	40,17
73	63 aA	62 bA	63 aA	62 bA	5503,25 aB	9617,39 bA	42,78
74	66 bB	62 bA	65 bA	63 cA	4762,47 aB	8588,11 bA	44,55
75	62 aA	62 bA	62 aA	63 cA	5095,35 aB	8771,79 bA	41,91
76	62 aA	60 aA	62 aA	61 aA	4800,29 aB	7621,66 cA	37,02
77	64 aA	64 cA	65 bA	64 dA	4822,40 aB	9006,80 bA	46,46
78	65 bB	62 bA	65 bA	63 cA	4879,75 aB	11893,81 aA	58,97
79	65 bB	59 aA	65 bB	58 aA	4891,41 aB	7429,69 cA	34,16
80	64 aA	65 cA	63 aA	64 dA	5588,84 aB	8720,85 bA	35,91
81	61 aA	60 aA	61 bA	60 aA	5462,88 aB	9333,91 bA	41,47
82	65 bA	67 dA	67 cA	67 eA	5443,65 aB	8980,73 bA	39,39
83	62 aA	63 bA	63 bA	62 cA	5535,13 aB	8345,56 bA	33,68
84	66 bB	64 cA	67 cA	64 dA	5187,44 aB	11754,74 aA	55,87
85	65 bB	62 bA	68 dB	62 cA	3292,97 bA	5132,82 cA	35,84
86	65 bA	64 cA	65 bA	64 dA	7032,11 aB	12186,03 aA	42,29
Média	64 A	63 A	65 A	64 A	4606,02 B	8532,04 A	

¹Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2016)

Tabela 6 - Índice de susceptibilidade à seca (ISS), tolerância ao estresse hídrico (TOL), coeficiente de resistência à seca (CS), índice de resistência ao estresse hídrico (IRS), índice de tolerância ao estresse hídrico (ITS) e média harmônica (MH) de 86 híbridos de milho. UFLA, Lavras, MG, 2016. (continua)

Cód.	ISS	TOL	CS	IRS	ITS	MH
1	0,94 b ¹	4132,51 c	0,57 b	0,67 b	0,71 a	6900,54 a
2	1,17 b	5753,95 c	0,46 b	0,51 b	0,74 a	6756,03 a
3	0,92 b	4654,97 c	0,58 b	0,81 a	0,97 a	8080,28 a
4	1,10 b	4610,00 c	0,50 b	0,50 b	0,56 b	5975,20 b
5	1,14 b	6415,28 c	0,48 b	0,60 b	0,96 a	7790,76 a
6	0,54 a	2244,14 a	0,76 a	1,14 a	0,85 a	7698,66 a
7	1,19 b	5930,34 c	0,46 b	0,50 b	0,76 a	6868,57 a
8	1,00 b	4784,96 c	0,54 b	0,66 b	0,80 a	7264,11 a
9	1,08 b	5087,49 c	0,51 b	0,56 b	0,71 a	6768,28 a
10	1,20 b	5737,69 c	0,45 b	0,44 b	0,66 a	6286,26 a
11	1,05 b	4961,78 c	0,52 b	0,64 b	0,77 a	6984,09 a
12	0,68 a	2851,00 b	0,69 a	0,88 a	0,72 a	7025,73 a
13	1,23 b	5507,37 c	0,43 b	0,43 b	0,56 b	5715,18 b
14	0,77 a	3323,78 b	0,65 a	0,87 a	0,80 a	7448,99 a
15	0,80 a	3589,22 b	0,63 a	0,82 a	0,78 a	7289,05 a
16	0,50 a	1507,53 a	0,78 a	0,94 a	0,51 b	5917,95 b
17	0,79 a	3296,66 b	0,64 a	0,75 b	0,68 a	6747,35 a
18	0,84 a	3120,92 b	0,62 a	0,67 b	0,55 b	6160,76 a
19	1,07 b	4977,59 c	0,51 b	0,57 b	0,72 a	6824,58 a
20	1,45 c	5889,53 c	0,33 b	0,22 b	0,36 b	4403,13 b
21	1,07 b	4832,41 c	0,51 b	0,56 b	0,68 a	6639,03 a
22	0,49 a	1596,35 a	0,78 a	0,95 a	0,57 b	6297,23 a
23	1,57 c	5868,89 c	0,28 b	0,22 b	0,63 a	4542,11 b
24	0,72 a	2803,82 b	0,67 a	0,71 b	0,50 b	5772,72 b
25	0,73 a	2862,16 b	0,67 a	0,83 a	0,67 a	6820,06 a
26	0,86 b	3450,20 b	0,61 b	0,70 b	0,65 a	6625,25 a
27	1,19 b	4296,95 c	0,46 b	0,35 b	0,39 b	4871,54 b
28	1,17 b	5447,72 c	0,47 b	0,48 b	0,58 b	5940,29 b
29	0,86 b	3514,09 b	0,61 b	0,70 b	0,66 a	6685,44 a
30	1,08 b	4775,24 c	0,51 b	0,55 b	0,67 a	6538,58 a

Tabela 6 - Índice de susceptibilidade à seca (ISS), tolerância ao estresse hídrico (TOL), coeficiente de resistência à seca (CS), índice de resistência ao estresse hídrico (IRS), índice de tolerância ao estresse hídrico (ITS) e média harmônica (MH) de 86 híbridos de milho. UFLA, Lavras, MG, 2016. (continuação)

Cód.	ISS	TOL	CS	IRS	ITS	MH
31	0,85 b	2857,68 b	0,61 b	0,53 b	0,35 b	4795,22 b
32	0,87 b	3989,68 c	0,61 b	0,84 a	0,85 a	7526,42 a
33	0,93 b	3483,45 b	0,58 b	0,57 b	0,52 b	5807,55 b
34	0,59 a	1858,89 a	0,73 a	0,72 b	0,42 b	5342,17 b
35	0,79 a	2920,00 b	0,64 a	0,72 b	0,57 b	6269,20 a
36	0,53 a	1298,02 a	0,76 a	0,64 b	0,25 b	4175,51 b
37	1,05 b	4191,41 c	0,52 b	0,47 b	0,52 b	5636,34 b
38	0,78 a	2421,94 a	0,64 a	0,51 b	0,33 b	4616,14 b
39	1,06 b	4747,73 c	0,52 b	0,54 b	0,62 a	6308,37 a
40	0,97 b	3379,03 b	0,56 b	0,54 b	0,41 b	5134,13 b
41	0,82 a	2634,03 a	0,63 a	0,62 b	0,36 b	4799,88 b
42	1,41 c	6236,56 c	0,35 b	0,26 b	0,47 b	5021,87 b
43	0,81 a	2836,06 b	0,63 a	0,66 b	0,51 b	5891,23 b
44	1,10 b	4517,19 c	0,50 b	0,49 b	0,47 b	5304,86 b
45	0,77 a	2419,31 a	0,65 a	0,71 b	0,49 b	5655,41 b
46	0,59 a	2328,76 a	0,73 a	0,90 a	0,54 b	6045,13 b
47	0,79 a	2477,42 a	0,64 a	0,64 b	0,41 b	5274,44 b
48	0,85 b	3024,98 b	0,61 b	0,68 b	0,53 b	5943,27 b
49	0,51 a	1382,31 a	0,76 a	0,74 b	0,31 b	4647,79 b
50	1,07 b	4035,19 c	0,51 b	0,46 b	0,48 b	5524,28 b
51	1,03 b	3481,79 b	0,53 b	0,46 b	0,40 b	5108,31 b
52	1,47 c	4534,80 c	0,32 b	0,16 b	0,21 b	3313,57 b
53	1,21 b	5887,75 c	0,45 b	0,45 b	0,63 a	6164,85 a
54	1,34 c	4957,36 c	0,39 b	0,27 b	0,35 b	4485,38 b
55	1,29 b	5167,75 c	0,41 b	0,32 b	0,41 b	4895,50 b
56	1,01 b	4216,34 c	0,54 b	0,57 b	0,61 a	6344,28 a
57	0,93 b	4298,05 c	0,58 b	0,70 b	0,74 a	7033,07 a
58	0,75 a	2449,15 a	0,66 a	0,64 b	0,42 b	5353,97 b
59	0,93 b	3748,06 b	0,58 b	0,62 b	0,60 a	6362,13 a

Tabela 7 - Índice de susceptibilidade à seca (ISS), tolerância ao estresse hídrico (TOL), coeficiente de resistência à seca (CS), índice de resistência ao estresse hídrico (IRS), índice de tolerância ao estresse hídrico (ITS) e média harmônica (MH) de 86 híbridos de milho. UFLA, Lavras, MG, 2016. (conclusão)

Cód.	ISS	TOL	CS	IRS	ITS	MH
60	1,31 b	5760,38 b	0,40 b	0,32 b	0,49 b	5306,10 b
61	1,06 b	4499,14 c	0,52 b	0,48 b	0,52 b	5679,82 b
62	0,80 a	3070,16 b	0,64 a	0,75 b	0,60 a	6403,09 a
63	0,55 a	2081,64 a	0,75 a	1,00 a	0,69 a	7014,40 a
64	0,69 a	2863,26 b	0,69 a	0,82 a	0,63 a	6566,98 a
65	1,18 b	4025,18 c	0,46 b	0,33 b	0,36 b	4617,56 b
66	0,99 b	3498,17 b	0,55 b	0,51 b	0,46 b	5488,53 b
67	0,82 a	3557,20 b	0,63 a	0,80 a	0,76 a	7237,48 a
68	0,95 b	3658,51 b	0,57 b	0,59 b	0,55 b	6063,07 b
69	0,95 b	3960,69 c	0,57 b	0,64 b	0,64 a	6522,55 a
70	0,70 a	2643,12 a	0,68 a	0,74 b	0,55 b	6078,12 b
71	0,53 a	2060,26 a	0,76 a	1,00 a	0,70 a	6987,09 a
72	0,83 a	3232,58 b	0,62 a	0,67 b	0,53 b	5934,78 b
73	0,93 b	4114,15 c	0,58 b	0,69 b	0,73 a	6997,04 a
74	0,90 b	3825,63 b	0,59 b	0,63 b	0,55 b	5995,19 b
75	0,92 b	3676,44 b	0,58 b	0,65 b	0,62 a	6436,95 a
76	0,80 a	2821,37 b	0,63 a	0,67 b	0,50 b	5866,68 b
77	1,01 b	4184,40 c	0,54 b	0,56 b	0,61 a	6281,55 a
78	1,27 b	7014,05 c	0,42 b	0,45 b	0,79 a	6857,80 a
79	0,76 a	2538,28 a	0,65 a	0,70 b	0,52 b	5896,09 b
80	0,78 a	3132,01 b	0,64 a	0,78 a	0,67 a	6810,63 a
81	0,88 b	3871,03 b	0,60 b	0,72 b	0,70 a	6838,56 a
82	0,77 a	3537,09 b	0,65 a	0,80 a	0,66 a	6605,87 a
83	0,73 a	2810,42 b	0,67 a	0,80 a	0,64 a	6649,32 a
84	1,22 b	6567,30 c	0,44 b	0,51 b	0,84 a	7168,66 a
85	1,28 b	4839,98 c	0,41 b	0,30 b	0,37 b	4649,67 b
86	1,05 b	6473,68 c	0,52 b	0,80 a	1,30 a	9241,93 a

¹Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2016)

Tabela 8 - Coeficientes de correlação de Spearman entre a produtividade de grãos potencial (PGp), produtividade de grãos sob estresse hídrico (PGs), índice de susceptibilidade à seca (ISS), tolerância ao estresse hídrico (TOL), coeficiente de resistência à seca (CS), índice de resistência ao estresse (IRS), índice de tolerância ao estresse hídrico (ITS), média harmônica (MH) e produtividade de grãos média (PGm). UFLA, Lavras, MG, 2016.

	PGp	ISS	TOL	CS	IRS	ITS	MH	PGm
PGs	0,30 ^{ns}	-0,67**	-0,46**	0,66**	0,90**	0,87**	0,91**	0,82**
PGp		0,43*	0,65**	-0,44**	-0,03 ^{ns}	0,64**	0,58**	0,74**
ISS			0,95**	-0,98**	-0,89**	-0,28*	-0,36*	-0,19 ^{ns}
TOL				-0,95**	-0,74**	-0,05 ^{ns}	-0,13 ^{ns}	0,05 ^{ns}
CS					0,88**	0,27 ^{ns}	0,36*	0,18 ^{ns}
IRS						0,63**	0,70**	0,56**
ITS							0,98**	0,97**
MH								0,96**

*significativo a 0.05; **significativo a 0.01; ^{ns} não significativo.

Fonte: Do autor (2016)

CAPÍTULO 3 ESTABILIDADE DE HÍBRIDOS DE MILHO EM AMBIENTES COM E SEM RESTRIÇÃO HÍDRICA VIA FATOR ANALÍTICO

RESUMO

O déficit hídrico é talvez o principal fator limitante na busca por altas produtividades, independente da cultura vegetal. O objetivo deste trabalho foi avaliar a estabilidade fenotípica de híbridos de milho em ambientes com e sem restrição hídrica por meio da abordagem fator analítico (FA). Avaliaram-se 171 híbridos de milho, em 14 ambientes, sendo ambientes com (A1, A2, A3, A4, A5, A6 e A7) e sem restrição hídrica (A8, A9, A10, A11, A12, A13 e A14), durante sete anos de avaliação. A cada ano, foram avaliados 36 híbridos. Foi utilizado o delineamento látice quadrado (6x6) e com tratamentos comuns entre os anos. Foram avaliadas as características de produtividade de grãos (PG), florescimento masculino (FM) e feminino (FF), altura de planta (AP) e espiga (AE). A adaptabilidade e estabilidade fenotípica dos híbridos também foi verificada. Os híbridos G66, G99, G86 e G26 são os mais estáveis e apresentam potencial para serem utilizados em ambientes com e sem restrição hídrica. Os modelos FA são úteis para avaliação de híbridos avaliados ao longo de vários anos, pois permitem selecionar os melhores híbridos com adaptabilidade e estabilidade específica e ampla e relacionar os híbridos aos seus componentes de produção, além de permitir a identificação de mega ambientes que possibilitam comportamento estável para híbridos adaptados.

Palavras-chave: *Zea mays*. Estresse hídrico. Estabilidade. Análise de fatores. Multiambientes.

**Corn hybrid stability in environments with and without water restriction
via analytical factor**

ABSTRACT

Water deficit is perhaps the main limiting factor in the search for high productivities, regardless of the plant culture. The objective of this work was to evaluate the phenotypic stability of corn hybrids in environments with and without water restriction, by means of the analytical factor (AF) approach. We evaluated 171 corn hybrids in 14 environments, divided into environments with (A1, A2, A3, A4, A5, A6 and A7) and without (A8, A9, A10, A11, A12, A13 and A14) water restriction, during seven evaluation years. Each year, 36 hybrids were evaluated. A square lattice design (6x6), with common treatments between years. The characteristics of grain productivity (GP), male (MF) and female flowering (FF), plant height (PH) and ear height (CH) were evaluated. Phenotypic adaptability and stability of the hybrids was also verified. Hybrids G66, G99, G86 and G26 are the most stable and present potential for use in environments with and without water restriction. The AF models are useful for evaluating hybrids over many years, allowing the selection of better hybrids with adaptability and specific and wide stability and relate the hybrids to their production components, in addition to allowing the identification of mega environments that allow a stable behavior for the adapted hybrids.

Keywords: *Zea mays*. Water stress. Stability. Factor analysis. Multienvironments.

1 INTRODUÇÃO

O déficit hídrico é talvez o principal fator limitante na busca por altas produtividades de grãos, independente da cultura vegetal. Portanto, a utilização de genótipos tolerantes ao déficit hídrico é uma estratégia eficiente para o aumento da produtividade e redução dos riscos de produção em áreas sujeitas a períodos com restrição hídrica.

Porém, a tolerância ao déficit hídrico das culturas é provavelmente a característica que apresenta a maior dificuldade de ser identificada com alta precisão. Dada a baixa herdabilidade da produtividade de grãos sob condições de déficit hídrico, o progresso genético é difícil de ser alcançado via seleção direta. Características secundárias são aquelas que estão correlacionadas com os caracteres principais, como por exemplo a produtividade de grãos (PG), fornecendo uma medida do desempenho da planta nos ambientes de avaliação. Uma característica secundária ideal seria aquela geneticamente correlacionada com a produção de grãos no ambiente de avaliação, que possua alta variabilidade genética, com alta herdabilidade, que seja estável durante todo o período de avaliação e que não esteja associada com qualquer fator de perda de produtividade sob condições sem estresse, permitindo assim, boas perspectivas de ganho com a seleção (EDMEADES et al., 1999; LAFITTE et al., 2003).

Para isso, a avaliação de características como o intervalo entre florescimento masculino e feminino (IFMF), altura de planta, prolificidade, senescência foliar, dentre outros, têm proporcionado o sucesso na obtenção de híbridos de milho com maior tolerância ao déficit hídrico.

Apesar disso, um desafio inerente à produtividade de grãos é que esta é uma característica de grande complexidade e que possui grande influência ambiental, através da interação genótipos por ambientes (GA) (LOPES et al., 2011). Nesse sentido, é importante ressaltar que na literatura é frequentemente reportado que grande parte dessa situação também pode ser atribuída à interação

genótipos por anos (PEIXOUTO, 2013). Portanto, é importante a utilização de recursos de análise estatística que permitam uma melhor compreensão de como essas interações afetam a produtividade de grãos dos diferentes híbridos de milho.

Nesse sentido, Piepho (1998) propôs um modelo misto multiplicativo fator analítico que considera efeitos aleatórios de genótipos e da interação GA. No mesmo contexto, Smith, Cullis e Gilmour (2001) propuseram uma classe geral de modelos fator analítico (FA) que abrangeu a abordagem de Piepho (1998) e incluiu erros espaciais para cada ensaio, conforme comentado por Figueiredo et al. (2014). Com isso, os autores buscaram o desenvolvimento de modelos que pudessem realizar considerações fidedignas com dados de vários ambientes de avaliação.

A metodologia FA pode ser utilizada com eficiência no estudo da interação GA em programas de melhoramento de milho. Nesse sentido, Nuvunga et al. (2015) utilizaram esta metodologia na avaliação de três níveis de desbalanceamentos de dados, que atingiram até 50%, e verificaram que a metodologia FA é robusta na análise de dados em multiambientes, incluindo as situações onde os genótipos não são avaliados em todos os ambientes e/ou anos. Além disso, os autores concluíram que, sob a abordagem de modelos mistos, a metodologia FA é eficiente sob diferentes níveis de desbalanceamento, com valores de correlação variando de médio a alto, dependendo do nível de perda estabelecido.

A utilização da metodologia FA relacionada a pesquisas da interação GA em híbridos de milho submetidos a ambientes de déficit hídrico ainda é escassa, sendo uma ferramenta promissora.

Desta maneira, o objetivo com este trabalho foi avaliar a estabilidade de híbridos de milho em ambientes contrastantes por meio da abordagem fator analítico.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Instalação e condução dos ensaios

Os ensaios foram instalados em área da Estação Experimental da Embrapa Milho e Sorgo, em Nova Porteirinha, na região norte do estado de Minas Gerais, entre os anos de 2007 a 2013. O clima local é tropical mesotérmico, quase megatérmico, em função da altitude, com características de sub-úmido e semi-árido, apresentando chuvas irregulares, ocasionando longos períodos de seca.

A instalação e condução dos ensaios foi realizada em época com baixa possibilidade de ocorrência de chuvas na região para garantir o controle na aplicação de água via irrigação. Assim, a semeadura foi realizada nos meses de maio e junho, dependendo do ano considerado, sob sistema de irrigação por gotejamento. O estresse hídrico foi imposto através da suspensão da irrigação nas parcelas dos ambientes com restrição hídrica entre os anos de 2007 a 2013 (A1, A2, A3, A4, A5, A6 e A7, respectivamente) aos 45 dias após a semeadura (45 DAS), permanecendo até a colheita. Nos ambientes sem restrição hídrica entre os anos de 2007 a 2013 (A8, A9, A10, A11, A12, A13 e A14, respectivamente), a irrigação foi realizada regularmente até o estágio R3, mantendo a capacidade de campo do solo.

O delineamento experimental utilizado foi o látice quadrado 6x6, com duas repetições nos ambientes A1, A2, A8 e A9 e quatro repetições nos demais ambientes. As parcelas foram constituídas de uma linha de 4 metros de comprimento, com espaçamento entre linhas de 0,8 metros, sendo a área útil da parcela de 3,2 m². A população final de plantas foi de 60 mil plantas/ha.

Na adubação de semeadura utilizaram-se 400 kg.ha⁻¹ do fertilizante formulado NPK 8-28-16. Na adubação de cobertura foram utilizados 200 kg.ha⁻¹

de uréia, quando as plantas se apresentavam no estágio de três (V3) e seis folhas completamente expandidas (V6).

Os demais tratos culturais foram realizados de acordo com a necessidade da cultura, buscando-se o máximo rendimento dos híbridos avaliados.

Foram avaliados 171 híbridos de milho, em fase de VCU (valor de cultivo e uso), obtidos no programa de melhoramento genético da Embrapa Milho e Sorgo juntamente com híbridos comerciais de diferentes empresas, utilizados como testemunhas (Tabela 7).

2.2 Características avaliadas

Foram avaliadas as seguintes características agronômicas:

Altura de espiga (AE): altura média de inserção de espigas em cinco plantas representativas da parcela, obtidas através da medição da distância do solo até a inserção da espiga superior da planta.

Altura de planta (AP): altura média de cinco plantas representativas da parcela, obtidas através da medição da distância do solo até a lígula da folha bandeira.

Florescimento maculino (FM): valores referentes a dias após a semeadura, onde 50% das plantas da parcela apresentavam-se com pendões liberando pólen.

Florescimento feminino (FF): valores referentes a dias após a semeadura, onde 50% das plantas da parcela apresentavam-se com estilo-estigmas visíveis nas espigas.

Produtividade de grãos (PG), obtida em gramas por parcela e posteriormente transformada em Kg.ha⁻¹, a 13% de umidade, através da expressão:

$$PG = PP \times \left(\frac{10000}{AU} \right) \times \left(\frac{100 - U}{87} \right)$$

Onde:

PG: produtividade de grãos em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, a 13% de umidade.

PP: peso de grãos em kg por parcela.

AU: área útil da parcela, em m^2 .

U: umidade dos grãos no momento da colheita, em %.

2.3 Análise dos dados

A análise foi efetuada em duas etapas: na primeira foi utilizada a abordagem de modelos mistos para o ajuste dos efeitos fixos (de ambientes confundidos com locais), efeitos aleatórios (de genótipos) e a matriz de variância residual usando o procedimento REML/BLUP via algoritmo EM, de acordo com Nuvunga et al. (2015) e proposto por Patterson e Thompson (1971).

A segunda etapa consistiu em ajustar o modelo de análise de fatores para se obterem os (eBLUPs) escores fatoriais e cargas fatoriais. Estas medidas ajustadas no segundo estágio servem como parâmetros para avaliar a adaptabilidade e estabilidade (STEFANOVA; BUIRCHELL, 2010) dos genótipos avaliados para recomendações (SMITH et al., 2015).

2.3.1 Descrição do modelo para análise na primeira etapa

A partir do conjunto de dados realizou-se uma análise conjunta considerando-se o seguinte modelo linear misto:

$$\mathbf{y} = \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \mathbf{Z}\mathbf{u} + \mathbf{e} \quad (1)$$

Em que:

$\mathbf{y}^{(n \times 1)}$ o vetor $(n \times 1)$ atribuído a todas n observações de todos ambientes;
 $\boldsymbol{\beta}^{(n \times 1)}$ é o vetor de efeitos fixos associado à matriz de delineamento $\mathbf{X}^{(n \times t)}$; $\mathbf{u}^{(b \times 1)}$

é o vetor de efeitos aleatórios associados à matriz de delineamento $\mathbf{Z}^{(n \times b)}$ e $\mathbf{e}^{(n \times 1)}$ é o efeito residual do vetor erro.

Assumiu-se que $\mathbf{e} \sim N(\mathbf{0}, \mathbf{R})$ e $\mathbf{u} \sim N(\mathbf{0}, \mathbf{G})$ e são independentes e

$$\begin{pmatrix} \boldsymbol{\varepsilon} \\ \mathbf{u} \end{pmatrix} \sim N\left(\mathbf{0}, \begin{pmatrix} \mathbf{I}_n \otimes \mathbf{R} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{I}_n \otimes \mathbf{G} \end{pmatrix}\right)$$

A distribuição dos dados é $\mathbf{y} \sim N(\mathbf{X}\boldsymbol{\beta}, \mathbf{Z}\mathbf{G}\mathbf{Z}^T + \mathbf{R})$ em que:

$$\boldsymbol{\Sigma} = \mathbf{Z}\mathbf{G}\mathbf{Z}^T + \mathbf{R}$$

A análise básica implica em um modelo misto que inclui efeitos principais de ambientes e genótipos (pelo menos um conjunto de efeitos principais deve ser considerado como aleatório) e aleatória a interação GA.

Considerando as premissas do modelo (1) e fazendo:

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} \mathbf{X}'\mathbf{R}^{-1}\mathbf{X} & \mathbf{X}'\mathbf{R}^{-1}\mathbf{Z} \\ \mathbf{Z}'\mathbf{R}^{-1}\mathbf{X} & \mathbf{Z}'\mathbf{R}^{-1}\mathbf{Z} + \boldsymbol{\Sigma}^{-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{C}_{11} & \mathbf{C}_{12} \\ \mathbf{C}_{21} & \mathbf{C}_{22} \end{bmatrix}$$

Os componentes de variância são estimados como:

$$\tilde{\sigma}_{e_{ij}} = \left\{ e_i^T e_j + \text{tr} \left(\left[\mathbf{K}\mathbf{C}^{-1}\mathbf{K}^T \right]_{ij} \right) \right\} / n^*$$

$$\tilde{\sigma}_{e_{ij}} = \begin{cases} \sigma_{e_k}^2 & \text{se } i = j \\ \sigma_{e_{ij}} & \text{se contrário} \end{cases}$$

Onde $\mathbf{K} = \{\mathbf{X}, \mathbf{Z}\}$ e o traço dependem da submatriz relacionada a i e j , sendo n^* o comprimento do vetor $\{j, i\}$.

2.3.2 Segunda etapa de análise

A análise de fatores na verossimilhança restrita pode ser implementada dadas as matrizes de (co)variâncias Σ e \mathbf{R} obtidas do estágio 1. Para isso, assumiu-se que Σ pode ser representada por uma estrutura de FA, ou seja, $(\mathbf{L}\mathbf{L}^T + \Psi)$, e que os BLUPs poderiam ser representados por fatores comuns na forma $(\mathbf{u} = \mathbf{L}\mathbf{f} + \delta)$. Realizou-se essa transformação no modelo linear misto (1), e verificou-se que:

$$\mathbf{y} = \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \mathbf{Z}[\mathbf{L}\mathbf{f} + \delta] + \mathbf{e} \quad (2)$$

Em que:

\mathbf{f} representa os vetores dos escores fatoriais das informações perdidas (BLUP's); δ a variância específica; \mathbf{L} representa a matriz de cargas fatoriais e \mathbf{X} e \mathbf{Z} , as matrizes de delineamento. Além disso, assumiu-se que $\mathbf{f} \sim N(\mathbf{0}, \mathbf{I})$, $\delta \sim N(\mathbf{0}, \Psi)$ e $\mathbf{e} \sim N(\mathbf{0}, \mathbf{R})$

2.3.3 estimação, predição e adequação do modelo

Considerando o modelo de análise apresentado em (1), as melhores estimativas lineares não viesadas (BLUEs) para os efeitos fixos e os melhores preditores lineares não viesados (BLUPs) para os efeitos aleatórios foram, respectivamente:

$$\hat{\boldsymbol{\beta}} = (\mathbf{X}^T \mathbf{H}^{-1} \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{H}^{-1} \mathbf{y}$$

$$\hat{\mathbf{u}} = \mathbf{GZ}\mathbf{H}^{-1} (\mathbf{X}^T \mathbf{H}^{-1} \mathbf{X})^{-1} (\mathbf{y} - \mathbf{X}\boldsymbol{\beta})$$

A segunda fase do ajuste do modelo consistiu no ajuste do modelo FA, para os cálculos dos parâmetros \mathbf{L} e $\mathbf{\Psi}$ do modelo FA e, conseqüentemente, para os cálculos dos f (BLUPs) escores de genótipos (NUVUNGA et al., 2015; SMITH; CULLIS; GILMOUR, 2001).

Partindo do modelo (6) e assumindo $\mathbf{W} = \mathbf{ZL}$ os estimadores dos parâmetros foram:

$$\hat{\mathbf{f}} = (\mathbf{W}^T \mathbf{R}^{-1} \mathbf{W} + \mathbf{I})^{-1} \mathbf{W}^T \mathbf{R}^{-1} (\mathbf{y} - \mathbf{Xb} - \mathbf{Z}\hat{\boldsymbol{\delta}})$$

$$\hat{\boldsymbol{\delta}} = (\mathbf{Z}^T \mathbf{R}^{-1} \mathbf{Z} + \mathbf{\Psi}^{-1} \otimes \mathbf{I})^{-1} \mathbf{Z}^T \mathbf{R}^{-1} (\mathbf{y} - \mathbf{Xb} - \mathbf{W}\hat{\mathbf{f}})$$

Nuvunga et al. (2015) destacam que a matriz de cargas (\mathbf{L}) não é única, sendo necessária a imposição de restrição de forma a torná-la única, recomendando a rotação Varimax, a mesma adotada neste trabalho.

A adequação do modelo FA é geralmente testada usando o teste da razão de máxima verossimilhança (ML) (JOHNSON; WICHERN, 2007), onde dois modelos aninhados, FA ($k + 1$) e FA (k) são comparados, com ($k + 1$) e k , respectivamente, sendo o número de fatores. Idealmente, a melhor maneira de testar a qualidade do ajuste do modelo de FA é compará-lo com a forma não estruturada da matriz de variância.

Devido à interpretação similar dos modelos FA e GGE-Biplot, os escores fatoriais e as cargas foram representados em biplot para a seleção de genótipos em ambientes estáveis, a delimitação de mega ambientes e a identificação do “padrão quem ganha onde”.

Todas as análises foram realizadas utilizando o *software* estatístico R (R CORE TEAM, 2013).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados climatológicos observados durante o período em que os experimentos foram avaliados em nível de campo foram considerados bons (Figura 1), uma vez que a precipitação acumulada foi extremamente baixa, corroborando com os resultados encontrados por Albuquerque et al. (2006), que após um estudo detalhado das condições edafoclimáticas ao longo de vários anos da estação experimental de Nova Porteirinha, verificaram que o local apresenta um período bem pronunciado de déficit hídrico, tornando-se um local adequado para implementação de pesquisas para a verificação da tolerância ao déficit hídrico. A precipitação registrada em maio de 2012, de aproximadamente 42mm, não interferiu na imposição do estresse, visto que nessa época, os ensaios estavam na fase de irrigação.

A identificação de ambientes que apresentem longos períodos de seca tem sido um dos grandes desafios na avaliação de híbridos de milho tolerantes ao déficit hídrico, uma vez que a ocorrência de chuvas durante o período de avaliação pode levar a conclusões com baixa precisão, diminuindo a eficiência na seleção. Nesse sentido, alguns trabalhos destacaram a importância dos ambientes ideais para uma maior eficiência na avaliação e seleção de híbridos de milho com tolerância ao déficit hídrico (CAMPOS et al., 2006; COOPER et al., 2014).

A precisão experimental é importante para avaliar a qualidade dos dados e garantir que as conclusões inferentes a eles sejam eficientes. Nesse contexto, a acurácia seletiva tem sido utilizada em estudos relacionados ao melhoramento genético de milho (ZHAO et al., 2012). A acurácia representa a correlação entre o valor genotípico predito e o valor genotípico estimado, sendo que, quanto mais próximo de um, maior a precisão experimental (RESENDE; DUARTE, 2007).

Resende e Duarte (2007), com o objetivo de propor uma abordagem para avaliação da qualidade de experimentos, enfatizaram a necessidade do uso de

métodos de estimação/predição dos valores genotípicos que promovem *shrinkage* sobre a média fenotípica do cultivar, e estabeleceram intervalos para o julgamento da acurácia seletiva como medida de precisão experimental. Desta forma, foi possível verificar que, neste trabalho, os experimentos apresentaram uma boa precisão, visto que as estimativas de acurácias apresentaram valores de alta magnitude para as características avaliadas (Tabela 2).

Smith et al. (2015) demonstraram a utilidade dos modelos FA para análise de dados de VCU e, embora esta abordagem se encontre bastante difundida na Austrália e Reino Unido para análise de tais dados, esta metodologia pode ser mais difundida em outros locais.

Considerando-se as médias gerais observadas, para AE variaram de 0,99m (A10) a 1,42m (A5 e A12); para AP, variaram entre 1,86m (A2) a 2,49m (A5); entre 60 dias (A1) e 68 dias (A2, A11) para a característica FM; entre 59 dias (A1) e 67 dias (A2, A11), para FF e para PG, as médias variaram de 3,53 ton/ha⁻¹ (A6) a 8,85 ton/ha⁻¹ (A10).

Foram verificadas reduções nas médias nos ambientes com restrição hídrica para as características AE, AP e PG, em relação aos pares de ambientes sem restrição hídrica. Para AE, a redução variou entre 1,77% e 6,24%; para AP, houve redução entre 5,40% e 6,75%. Para PG, a redução observada variou entre 36,19% e 48,14%. Banziger et al. (2000) verificaram que, para que os ambientes de avaliação de híbridos de milho sejam contrastantes e, portanto, ideais para este tipo de pesquisa, a redução na PG deve ficar entre 40% e 60%, corroborando com os resultados observados nesse trabalho.

A análise gráfica através de Biplots tem sido utilizada para a interpretação de resultados em pesquisas de avaliação de híbridos de milho para tolerância ao déficit hídrico. No trabalho de Stefanova e Bruichell (2010), a correlação entre o primeiro escore fatorial e os e-BLUPs dos genótipos foi de

0,99 e a interpretação dos ambientes no modelo FA é similar à interpretação de GGE biplots.

Na análise de gráficos de modelos FA, a estabilidade pode ser descrita pelos escores do fator 2. Dessa maneira, genótipos produtivos e estáveis devem ter altos escores para o Fator 1, mas valores mais próximos de zero para o Fator 2, o que sugere que estas pontuações correspondem a genótipos que não são específicos para grupos de ambientes (NUVUNGA et al., 2015).

Para a característica AE, foi observado que o ambiente A8 contribuiu menos para a interação GA (Figura 2). Nos ambientes A2, A5, A7, A10 e A13 foi possível agrupar o maior número de híbridos, indicando que este macroambiente possibilitou a adaptação mais geral ao grupo de híbridos avaliados. O híbrido G98 apresentou boa adaptabilidade nos ambientes A6 e A14.

Assim, para o fator 2, os genótipos que estão mais distantes da origem são aqueles que mais contribuem para a interação GA, ou seja, eles apresentam uma resposta específica a um grupo de ambientes (NUVUNGA et al., 2015).

Para a característica AP, verificou-se que os ambientes A2 e A5 contribuíram menos para a interação GA (Figura 3). Em sentido contrário, o ambiente A4 foi o que mais contribuiu para a interação. Foi observado também que, para AP, houve uma concentração dos melhores valores nos ambientes A1, A2, A6 e 12. Nos ambientes A2, A5, A7, A9 e A14, os híbridos que se destacaram foram G99, G100 e G102.

Essa é uma característica importante e que deve ser avaliada em pesquisas visando à tolerância ao déficit hídrico, uma vez que plantas com um maior porte tendem a apresentar maiores índices de tombamento e quebraimento. Além disso, a redução no crescimento das plantas foi correlacionada positivamente com o nível de estresse aplicado (BAI et al., 2006). Assim, a

busca por híbridos de milho com menor AP em ambientes com baixa disponibilidade hídrica é recomendada (HAO et al., 2011).

Outro ponto a se considerar refere-se à alta correlação entre AE e AP (BANZIGER et al., 2000), e essas características apresentaram uma coincidência de 57,69% nos ambientes com restrição hídrica e de 53,84% nos ambientes sem restrição hídrica.

Para o FM, o híbrido G54 foi o que apresentou maior estabilidade (Figura 4). Os ambientes A3, A4, A10 e A11 apresentaram a maior concentração dos híbridos com menores valores para FM. Os híbridos G41 e G42 apresentaram boa adaptabilidade aos ambientes A1, A2, A8 e A9. Observou-se que houve um agrupamento dos ambientes A6 e A13. Uma observação importante para essa característica é que, ao considerar o agrupamento de ambientes, ficou evidenciado que houve um comportamento semelhante em função dos anos de avaliação. Por exemplo, os ambientes A6 e A13 dizem respeito ao ano de avaliação 2012 e, nesse sentido, os híbridos apresentaram desempenho similar nos ambientes para esse período.

Para a característica FF, os híbridos G32, G57, G58 e G59 apresentaram maior adaptabilidade aos ambientes A1, A2, A8 e A9. Nos ambientes A6 e 13, os melhores híbridos foram o G135, G153 e G162 (Figura 5).

Para PG, os ambientes que menos contribuíram para a interação GA foram os ambientes A1, A2, A7 e A8 (Figura 6). Destes, apenas o A8 pertence ao grupo sem restrição hídrica, indicando que os ambientes com restrição hídrica podem permitir uma avaliação mais fidedigna do genótipo. No ambiente A4, o híbrido G66 apresentou elevada média para PG. Os híbridos G42, G60 e G65 tiveram um bom desempenho nos ambientes A3, A11 e A12. Para essa característica, tem sido relatado que a interação GA é do tipo complexa, sendo altamente influenciada pelo ambiente (LOPES et al., 2011). Além disso, um

alelo associado a um determinado gene ou QTL tem diferentes efeitos dependendo da condição ambiental em que se encontra (CHENU et al., 2009).

De maneira geral, houve alteração no ranqueamento dos híbridos nos ambientes com e sem restrição hídrica. A coincidência entre os ambientes foi de 49,12% para os híbridos com maiores PG e 41,87% para os híbridos com menores PG. Os híbridos G66, G99, G86 e G26 apresentaram boa estabilidade e possuem potencial para serem utilizados em ambientes com e sem restrição hídrica.

Em plantas de milho sob condições de déficit hídrico, o decréscimo na produtividade de grãos está diretamente relacionado à duração e intensidade do período de estresse, bem como o estágio de desenvolvimento da planta em que este estresse ocorre. Nesse sentido, maiores reduções têm sido observadas quando o déficit hídrico ocorre entre o final dos estádios vegetativos até o estágio reprodutivo 3 (R3), podendo causar reduções de até 100% (CHEN et al., 2012). Nesta presente pesquisa, em todos os anos, a restrição hídrica foi imposta aos 45 dias após a semeadura (DAS), coincidindo com os períodos críticos de déficit hídrico para a planta de milho, o que permitiu a avaliação e discriminação dos híbridos.

Alguns estudos têm demonstrado que a interação genótipos por anos pode ser até maior que a interação genótipos por locais (ASSEFA et al., 2012; COOPER et al., 2014). Deste modo, a seleção de híbridos de milho deve ser baseada em avaliações em mais de ano, visando a uma maior precisão na identificação de híbridos mais produtivos. Nesta pesquisa, apesar de nem todos os híbridos terem sido avaliados consecutivamente durante os sete anos, as informações e estimativas observadas permitiram realizar inferências seguras sobre o desempenho dos híbridos.

A seleção de híbridos de milho tolerantes ao déficit hídrico deve ser realizada em ambientes com e sem restrição hídrica (COOPER et al., 2014).

Desta forma, é possível a avaliação da resposta dos híbridos em relação ao estímulo ambiental, permitindo selecionar híbridos com maior estabilidade e que apresentem boa produtividade de grãos sob condições de déficit hídrico e que também apresentem boa PG sob condições não estressantes. Além disso, neste sistema de avaliação, é possível realizar um *screening* do germoplasma, eliminando linhagens ou híbridos que não apresentam características desejáveis, ou até mesmo selecionando híbridos tolerantes ao déficit hídrico para posicionamento agrícola para regiões que apresentem condições ambientais semelhantes. Nesse sentido, Campos et al. (2006) e Chapman et al. (1997) destacaram que o ganho com a seleção para produtividade de grãos em ambientes com déficit hídrico é baixo quando a seleção é baseada em ambientes sem restrição hídrica.

Quando os efeitos principais dos genótipos são incluídos no modelo, o primeiro fator reflete principalmente o desempenho do genótipo e pode ser utilizado para a avaliação do ganho genético. Além disso, se um modelo de dois fatores proporciona um ajuste razoável e explica uma grande proporção de interações GA, em seguida, o segundo fator pode ser usado para ilustrar a estabilidade de cultivares na série de ambientes (NUVUNGA et al., 2015; STEFANOVA; BUIRCHELL, 2010).

A metodologia FA utilizada nesta pesquisa possibilitou discriminar os híbridos avaliados, apesar do alto grau de desbalanceamento dos dados, bem como realizar inferências sobre a adaptabilidade e estabilidade dos mesmos. Isso se torna ainda mais interessante quando se considera a situação dos programas de melhoramento de plantas de um modo geral, onde o desbalanceamento de dados é comum, como é caso do presente trabalho, que considera uma série de dados de ensaios de VCU, instalados em anos sucessivos, onde os híbridos com melhor desempenho são conservados, por pelo menos dois anos, e os demais substituídos por novos híbridos. Além disso, Figueiredo et al. (2014) verificaram

que a metodologia FA pode ser utilizada com segurança em estudos de adaptabilidade e estabilidade em ensaios com alto grau de desbalanceamento de dados. Podemos destacar ainda o trabalho de Smith et al. (2015) que destacaram a superioridade desta metodologia para avaliação de ensaios em multi ambientes por vários anos.

Resultados sobre a eficiência de modelos FA também foram reportados em outras culturas. Resende e Thompson (2004), com o objetivo de demonstrar a superioridade do modelo FA com variâncias residuais heterogêneas em relação ao AMMI para a cultura do eucalipto, observaram que a heterogeneidade entre as variâncias em ambientes específicos forneceram estimativas da estrutura de correlação completa, facilitando decisões práticas a serem feitas no contexto do estudo da interação GA. Além disso, Stefanova e Buirchell (2010) observaram que a abordagem FA fornece uma representação com estrutura parcimoniosa da variação genética, proporcionando também uma interpretação clara da adaptabilidade e estabilidade dos genótipos avaliados em ensaios multiambientes.

Diante do exposto, a avaliação e a identificação de híbridos de milho que apresentem alta produtividade de grãos em ambientes com e sem restrição hídrica são fundamentais para o contínuo aumento na produção de grãos, permitindo atingir uma maior estabilidade produtiva. Essas considerações se tornam ainda mais relevantes quando se considera o cenário atual de produção de milho no Brasil, com uma tendência cada vez maior de aumento da área plantada na segunda safra (safrinha), onde os riscos associados ao déficit hídrico são maiores. Além disso, essa tem sido a direção adotada nas principais regiões produtoras de milho no mundo, onde as adversidades climáticas têm sido cada vez mais frequentes e híbridos de milho que possuem tolerância ao déficit hídrico têm sido preferidos, uma vez que associam boa produtividade sob ambientes com restrição hídrica e uma boa resposta quando se tem uma

condição ambiental mais favorável. Para isso, é essencial a utilização de ferramentas de análise que permitam avaliar a interação GA, tais como a metodologia FA, permitindo a identificação de cultivares superiores com estabilidade genética para as características de interesse.

4 CONCLUSÕES

Os híbridos G66, G99, G86 e G26 são os mais estáveis e apresentam potencial para serem utilizados em ambientes com e sem restrição hídrica.

Os modelos FA são úteis para avaliação de híbridos ao longo de vários anos, pois permitem selecionar os melhores híbridos com adaptabilidade e estabilidade específica e ampla e relacionar os híbridos com boas características para produção de grãos, além de permitir a identificação de mega ambientes com maior correlação entre si.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, P. E. P. et al. **Caracterização climática do sítio-específico de Janaúba para a fenotipagem de cereais visando estudos de tolerância à seca**. Brasília: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. 8 p.

ASSEFA, Y. et al. Dryland and irrigated corn yield with climate, management, and hybrids changes 1939 through 2009. **Agronomy Journal**, Madison, v. 104, n. 2, p. 473-482, Aug. 2012.

BAI, L. P. et al. Effect of soil drought stress on leaf water status, membrane permeability and enzymatic antioxidant system of maize. **Pedosphere**, Amsterdam, v. 16, n. 3, p. 326–332, June 2006.

BÄNZIGER, M. et al. **Breeding for drought and nitrogen stress tolerance in maize: from theory to practice**. México: CIMMYT, 2000. 68 p.

CAMPOS, H. et al. Changes in drought tolerance in maize associated with fifty years of breeding for yield in the U.S. Corn belt. **Maydica**, Bergamo, v. 51, n. 2, p. 369-381, Dec. 2006.

CHAPMAN, S. C. et al. Genotype by environments effects and selection for drought tolerance in tropical maize. I. Two mode pattern analysis of yield. **Euphytica**, Wageningen, v. 95, n. 1, p. 1-9, May 1997.

CHEN, J. et al. Characterization of maize inbred lines for drought and heat tolerance. **Journal of Soil and Water Conservation**, Amsterdam, v. 67, n. 5, p. 354-364, 2012.

CHENU, K. et al. Simulating the yield impacts of organ-level quantitative trait loci associated with drought response in maize: a ‘gene-to-phenotype’ modeling approach. **Genetics**, Austin, v. 183, n. 4, p. 1507-1523, Dec. 2009.

COOPER, M. et al. Breeding drought-tolerant maize hybrids for the US Corn-belt: discovery to product. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 65, p. 6191–6204, Mar. 2014.

EDMEADES, G. O. et al. Selection improves drought tolerance in tropical maize populations: I. Gains in biomass, grain yield, harvest index. **Crop Science**, Madison, v. 39, n. 5, p. 1306–1315, Aug. 1999.

FIGUEIREDO, A. G. et al. Application of mixed models for evaluating stability and adaptability of maize using unbalanced data. **Euphytica**, Wageningen, v. 202, n. 3, p. 1-17, Apr. 2014.

HAO, Z. et al. Identification of functional genetic variations underlying drought tolerance in maize using SNP markers. **Plant Biology**, Stuttgart, v. 53, n. 8, p. 641–652, May 2011.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. **Applied multivariate statistical analysis**. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 2007. 767 p.

LAFITTE, H. R. et al. Using secondary traits to help identify drought-tolerant genotypes. **Crop Science**, Madison, v. 32, p. 234-246, Jan. 2003.

LOPES, M. S. et al. Enhancing drought tolerance in C4 crops. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 62, n. 9, p. 3135–3153, Apr. 2011.

NUVUNGA, J. J. et al. M. Factor analysis using mixed models of multi-environment trials with different levels of unbalancing. **Genetics and Molecular Research**, New York, v. 14, n. 4, p. 14262-14278, 2015.

PATTERSON, H. D.; THOMPSON, R. Recovery of inter-block information when block sizes are unequal. **Biometrika**, London, v. 58, n. 3, p. 545-554, 1971.

PEIXOUTO, L. S. **Proposta de análise de fatores na matriz G+GA via modelos mistos em multiambientes**. 2013. 124 p. Tese (Doutorado em Estatística e Experimentação Agrícola) -Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

PIEPHO, H. R. Empirical best linear unbiased prediction in cultivar trials using factor-analytic variance-covariance structures. **Theoretical Applied Genetics**, v. 97, n. 1, p. 195–201, July 1998.

R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2013. Disponível em: <<http://www.R-project.org/>>. Acesso em: 12 maio 2015.

RESENDE, M. D. V.; DUARTE, J. B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 37, n. 3, p. 182-194, set. 2007.

RESENDE, M. D. V.; THOMPSON, R. Factor analytic mixed models in the analysis of multiple experiments. **Revista de Matemática e Estatística**, Marília, v. 22, p. 1-22, dez. 2004.

SMITH, A. B. et al. Factor analytic mixed models for the provision of grower information from national crop variety testing programs. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 128, n. 1, p. 55–72, Jan. 2015.

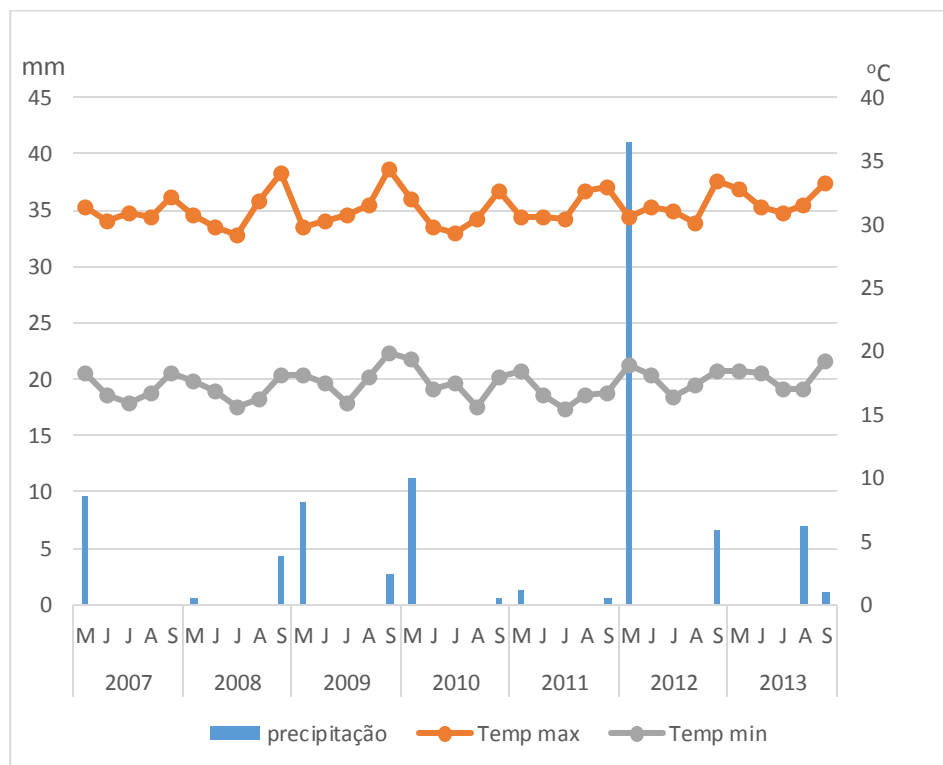
SMITH, A. B.; CULLIS, B. R.; GILMOUR, A. The analysis of crop variety evaluation data in Australia. **Australian & New Zealand Journal of Statistics**, Oxford, v. 43, p.129–145, 2001.

STEFANOVA, K. T.; BUIRCHELL, B. Multiplicative mixed models for genetic gain assessment in lupin breeding. **Crop Science**, Madison, v. 50, n. 3, p. 880-891, May 2010.

ZHAO, Y. et al. Accuracy of genomic selection in European maize elite breeding populations. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 124, n. 4, p. 769-776, Mar. 2012.

APÊNDICE A – GRÁFICOS E TABELAS

Figura 1 - Precipitação, temperatura máxima média (Temp max) e temperatura mínima média (Temp min), nos meses de maio (M), junho (J), julho (J), agosto (A) e setembro (S) no diferentes anos de avaliação dos híbridos. UFLA, Lavras, MG, 2016.



Fonte: Dados da Rede do INMET (2016).

Tabela 1 - Código (Cód.) e Híbrido (Híb.) dos 171 híbridos avaliados, UFLA, Lavras, MG, 2016. (continua)

Cód.	Híb.	Cód.	Híb.	Cód.	Híb.	Cód.	Híb.
1	1D225	44	3G726	87	1I927	130	1K1284
2	1D235	45	3G727	88	1I931	131	1K1285
3	1F557	46	3G729	89	1I933	132	1K1286
4	1F558	47	3G730	90	1I934	133	1K1294
5	1F560	48	3G731	91	1I953	134	1K1301
6	1F562	49	3G732	92	1I955	135	1K1306
7	1F563	50	3G733	93	1I967	136	1K1322
8	1F565	51	3G735	94	1I969	137	1K1323
9	1F583	52	3G737	95	1I970	138	1K1324
10	1F590	53	3G738	96	1I977	139	1K1331
11	1F592	54	3G739	97	2I889	140	1K1341
12	1F630	55	3G741	98	3I890	141	1K1343
13	1F632	56	3G742	99	P3862	142	1K1346
14	1F640	57	AS1567	100	1I862	143	1K1348
15	1G671	58	1G672	101	1I923	144	1K1352
16	2B710	59	1H787	102	1J1120	145	1K1353
17	2C18EC	60	1H795	103	1J1121	146	2K1265
18	2E496	61	1H845	104	1J1132	147	P30F53
19	2E530	62	2H826	105	1J1133	148	1K1251
20	2F633	63	2H828	106	1J1143	149	1L1395
21	3E474	64	2H829	107	1J1144	150	1L1397
22	3E528	65	2H831	108	1J1150	151	1L1401
23	3E531	66	2H834	109	1J1158	152	1L1404
24	3E532	67	3F627	110	1J1164	153	1L1408
25	3E533	68	3H798	111	1J1166	154	1L1409
26	3F624	69	3H813	112	1J1167	155	1L1411
27	3G670	70	3H823	113	1J1171	156	1L1434
28	BRS1010	71	3H832	114	1J1176	157	1L1439
29	BRS1040	72	3H842	115	1J1177	158	1L1449
30	BRS1055	73	3H843	116	1J1183	159	1L1452
31	BRS1060	74	AG7088	117	1J1186	160	1L1454

Tabela 1 - Código (Cód.) e Híbrido (Híb.) dos 171 híbridos avaliados, UFLA, Lavras, MG, 2016. (conclusão)

Cód.	Híb.	Cód.	Híb.	Cód.	Híb.	Cód.	Híb.
32	BRS2022	75	1G692	118	1J1197	161	1L1455
33	BRS3025	76	1I864	119	1J1203	162	1L1457
34	BRS3040	77	1I865	120	1J1206	163	1L1467
35	DKB390	78	1I873	121	1J1208	164	1L1473
36	P30F35	79	1I896	122	1J1211	165	1L1477
37	1F622	80	1I897	123	1J1209	166	1L1484
38	1F625	81	1I900	124	1K1245	167	1L1487
39	1F631	82	1I907	125	1K1250	168	1L1493
40	1G703	83	1I908	126	1K1267	169	1L1496
41	1G758	84	1I909	127	1K1271	170	1L1500
42	1G759	85	1I913	128	1K1272	171	AG8088
43	2B707	86	1I926	129	1K1277		

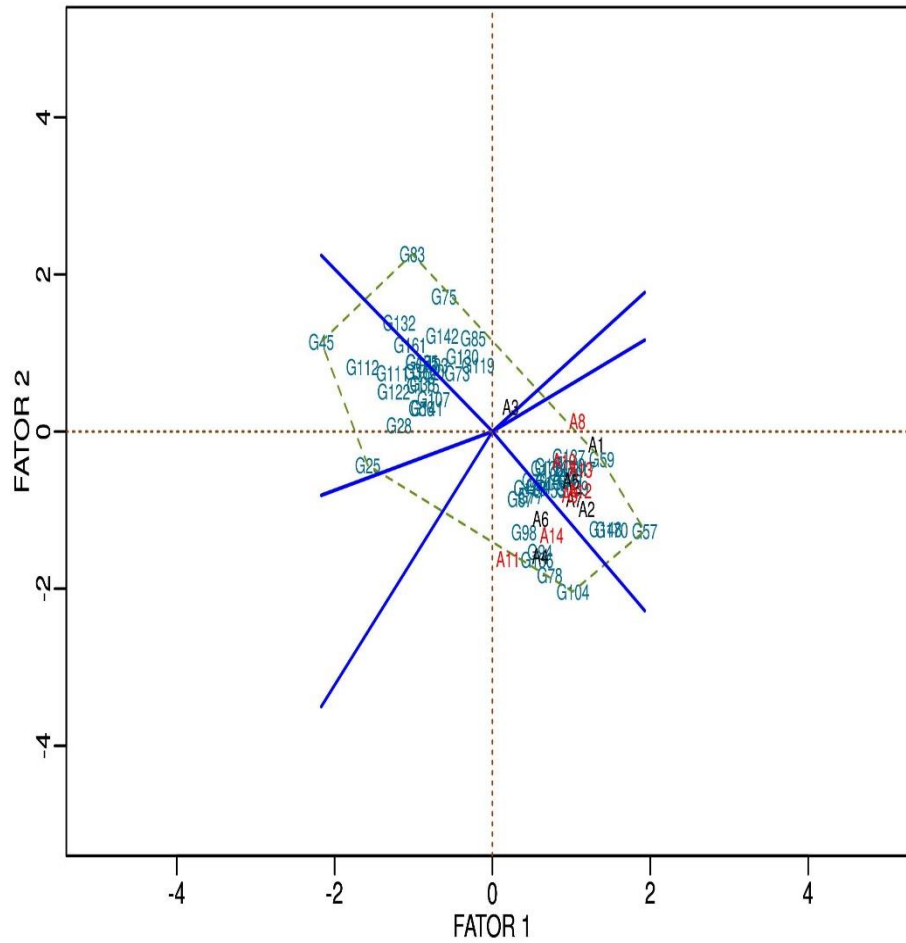
Fonte: Do autor (2016)

Tabela 2 - Média (M.) e acurácia seletiva (Ac.) para as características de altura de espiga (AE), altura de planta (AP), florescimento masculino (FM) e feminino (FF) e produtividade de grãos (PG), em toneladas/ha⁻¹, para os 14 ambientes (Amb.) de avaliação. UFLA, Lavras, MG, 2016.

Amb.	AE		AP		FM		FF		PG	
	M.	Ac.	M.	Ac.	M.	Ac.	M.	Ac.	M.	Ac.
A1	1,15	81,23	1,99	85,72	60	90,21	59	92,33	4,89	80,85
A2	1,00	83,15	1,86	81,88	68	88,76	67	91,30	4,20	79,21
A3	1,04	81,19	2,01	79,93	64	89,54	62	89,08	4,26	84,12
A4	1,21	84,43	2,30	82,41	67	92,32	65	93,56	4,56	77,34
A5	1,42	82,32	2,49	85,31	66	91,04	65	90,12	5,20	80,05
A6	1,03	79,58	2,06	78,22	66	90,92	64	87,25	3,53	78,18
A7	1,23	82,45	2,27	85,54	64	92,66	64	91,63	4,95	81,24
A8	1,19	83,12	2,13	82,13	60	89,31	60	90,20	6,54	80,66
A9	1,07	86,65	2,16	88,21	64	86,95	64	88,92	5,63	79,16
A10	0,99	86,21	2,06	84,99	64	90,02	64	91,09	8,85	83,52
A11	1,34	83,67	2,37	80,31	68	89,27	67	89,34	8,13	79,31
A12	1,42	87,96	2,48	88,46	65	93,15	64	94,47	8,54	85,12
A13	1,22	82,31	2,33	82,39	61	88,78	61	91,81	7,51	82,95
A14	1,22	87,36	2,30	83,22	64	90,73	64	90,07	8,20	80,07

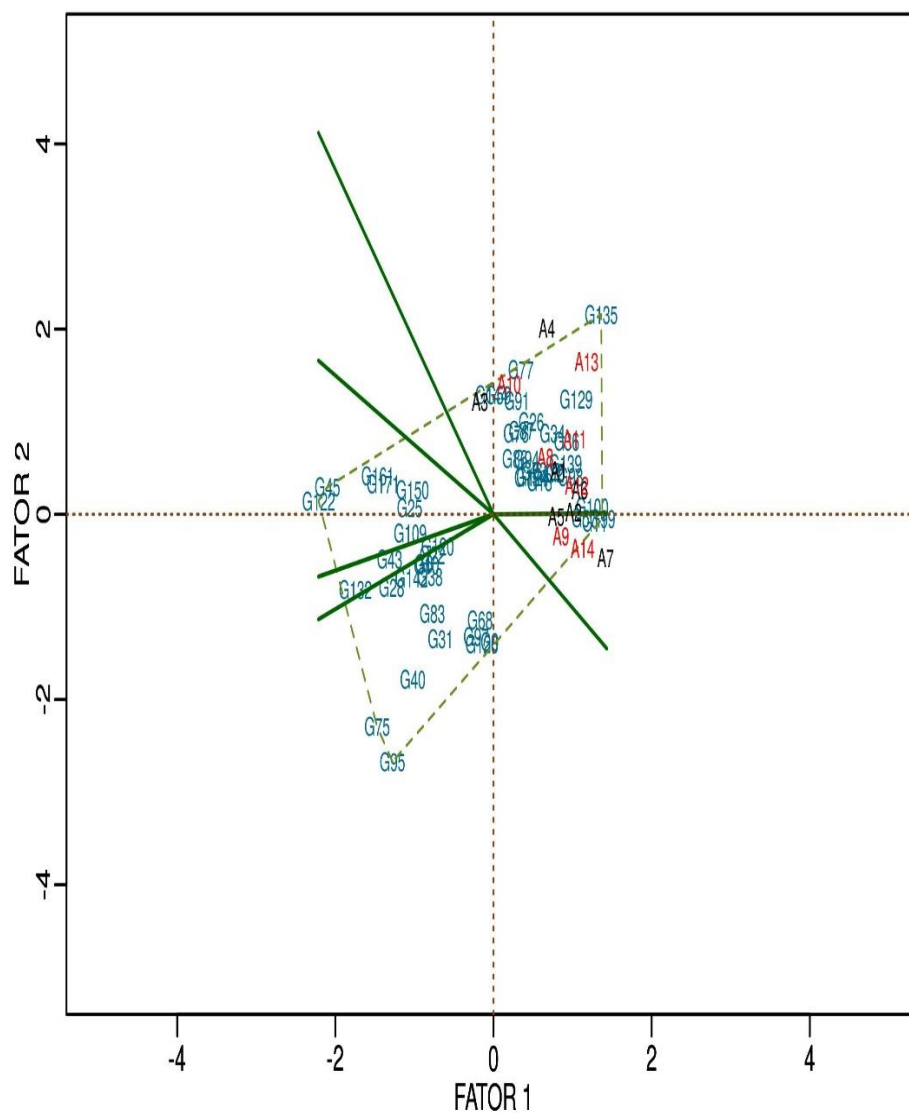
Fonte: Do autor (2016)

Figura 2 - Cargas e escores fatoriais obtidos na análise multiambiental considerando os ambientes com (A1, A2, A3, A4, A5, A6 e A7) e sem restrição hídrica (A8, A9, A10, A11, A12, A13 e A14) para 15% dos híbridos com maiores e menores AE de acordo com o Fator 1. UFLA, Lavras, MG, 2016.



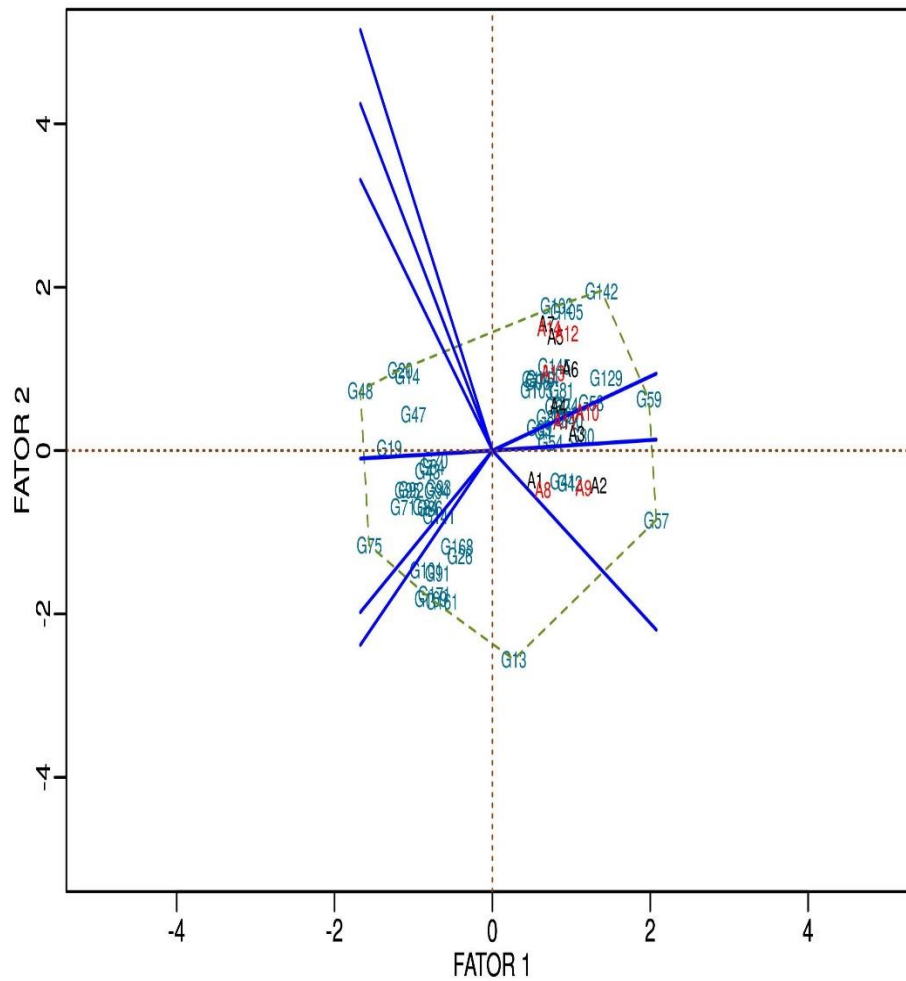
Fonte: Do autor (2016)

Figura 3 - Cargas e escores fatoriais obtidos na análise multiambiental considerando os ambientes com (A1, A2, A3, A4, A5, A6 e A7) e sem restrição hídrica (A8, A9, A10, A11, A12, A13 e A14) para 15% dos híbridos com maiores e menores AP de acordo com o Fator 1. UFLA, Lavras, MG, 2016.



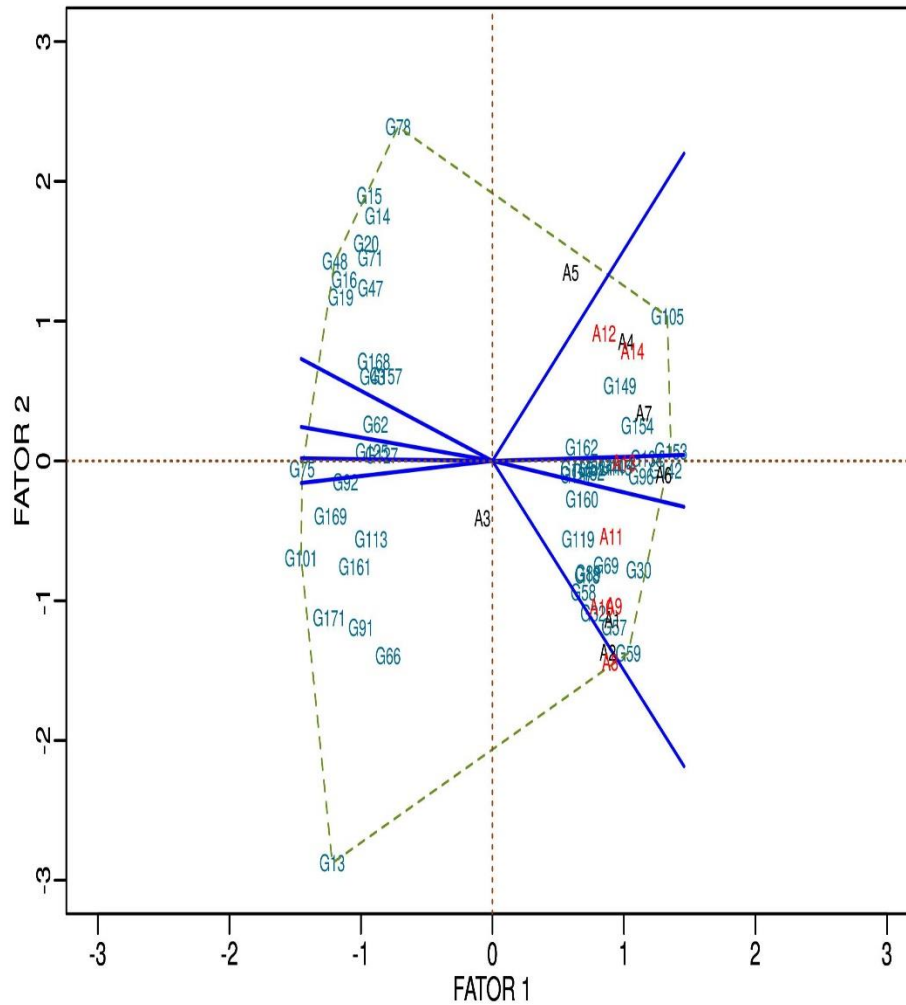
Fonte: Do autor (2016)

Figura 4 - Cargas e escores fatoriais obtidos na análise multiambiental considerando os ambientes com (A1, A2, A3, A4, A5, A6 e A7) e sem restrição hídrica (A8, A9, A10, A11, A12, A13 e A14) para 15% dos híbridos com maiores e menores FM de acordo com o Fator 1. UFLA, Lavras, MG, 2016.



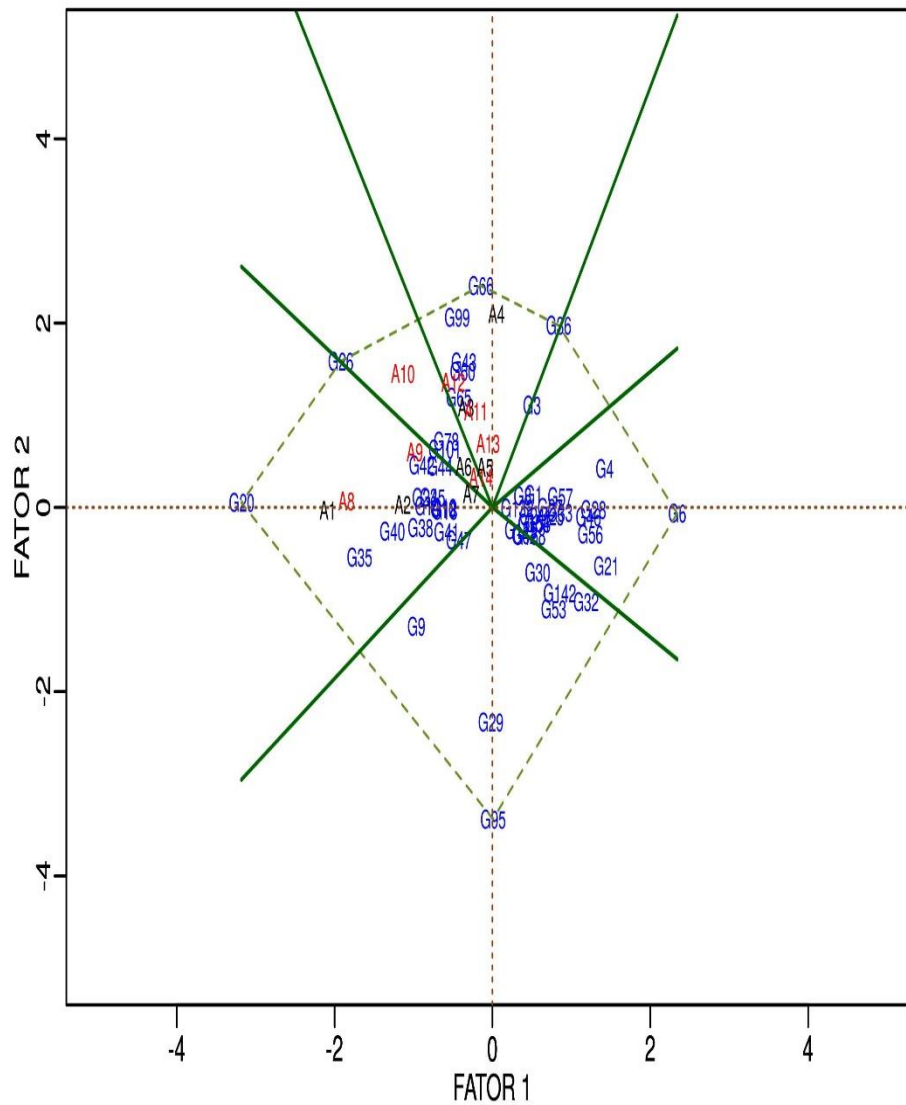
Fonte: Do autor (2016)

Figura 5 - Cargas e escores fatoriais obtidos na análise multiambiental considerando os ambientes com (A1, A2, A3, A4, A5, A6 e A7) e sem restrição hídrica (A8, A9, A10, A11, A12, A13 e A14) para 15% dos híbridos com maiores e menores FF de acordo com o Fator 1. UFLA, Lavras, MG, 2016.



Fonte: Do autor (2016)

Figura 6 - Cargas e escores fatoriais obtidos na análise multiambiental considerando os ambientes com (A1, A2, A3, A4, A5, A6 e A7) e sem restrição hídrica (A8, A9, A10, A11, A12, A13 e A14) para 15% dos híbridos com maiores e menores PG de acordo com o Fator 1. UFLA, Lavras, MG, 2016.



Fonte: Do autor (2016)

ANEXO A – CARGAS E ESCORES FATORIAIS

Tabela 1 - Cargas e escores fatorais para o fator 1(F1) e para o fator 2 (F2) referentes as características de produtividade de grãos (PG), altura de espiga (AE), altura de planta (AP), florescimento feminino (FF) e masculino (FM), UFLA, Lavras, MG, 2016. (continua)

Hib.	PG		AE		AP		FF		FM	
	F1	F2	F1	F2	F1	F2	F1	F2	F1	F2
1	0,45	0,11	0,55	0,02	0,03	0,63	0,16	-0,81	0,77	0,20
2	-0,15	0,01	0,76	-0,11	0,86	0,33	0,01	-0,36	0,42	-0,25
3	0,43	0,86	-0,13	-0,06	-0,38	0,90	0,02	-0,37	0,07	-0,47
4	1,22	0,33	1,04	0,63	0,07	-0,06	0,37	-0,30	0,36	-0,24
5	-0,36	-0,01	0,72	0,03	0,38	0,18	0,23	-0,18	0,60	-0,36
6	2,01	-0,05	-0,32	0,10	-0,97	-0,40	-0,03	0,74	0,39	-0,24
7	0,02	-0,04	0,00	-0,07	-0,62	-0,26	-0,54	0,48	-0,39	0,23
8	0,33	0,10	-0,09	0,02	-0,43	-0,18	0,19	0,06	0,20	-0,12
9	-0,83	-1,01	0,82	0,26	-0,06	-1,03	-0,34	-0,13	0,04	0,34
10	-0,54	-0,01	-0,95	-0,08	-0,94	-0,41	-0,59	0,40	-0,63	0,38
11	-0,09	-0,54	0,36	0,03	1,41	-0,06	0,95	-0,85	-0,50	-0,03
12	-0,53	0,00	-0,85	0,02	0,04	0,03	-0,45	0,27	-0,30	0,18
13	0,01	0,84	-0,45	-0,67	-1,06	0,54	-1,63	-1,96	0,32	-2,16
14	-0,71	0,01	-0,67	0,13	-0,19	-0,11	-1,11	1,19	-1,28	0,77
15	-0,20	0,04	-0,28	0,03	-0,19	-0,06	-1,25	1,29	-0,59	0,35
16	0,06	0,06	-0,97	0,01	-0,28	-0,14	-1,51	0,88	-0,56	0,34
17	-0,11	0,09	-0,34	0,17	-0,18	-0,08	0,42	-0,12	0,37	-0,22
18	-0,52	-0,02	0,51	0,06	0,64	0,26	0,96	-0,56	0,00	0,00
19	-0,25	1,18	-0,12	-0,06	0,12	-0,83	-1,54	0,80	-1,55	0,02
20	-2,74	0,04	0,23	-0,20	0,23	0,07	-1,28	1,06	-1,39	0,84
21	1,24	-0,49	0,20	-0,34	0,12	0,36	0,16	0,19	-0,33	0,18
22	-0,31	-0,09	-0,88	0,18	-0,86	-0,33	-0,13	-0,18	0,02	-0,01
23	-0,74	0,09	0,09	-0,04	0,23	0,10	-0,29	0,35	-0,44	0,27
24	0,43	-0,07	0,09	-0,11	0,15	0,06	-0,54	0,13	-0,07	0,04
25	0,64	-0,07	-1,64	-0,40	-1,17	0,06	-0,26	0,07	0,09	0,04

Tabela 1 - Cargas e escores fatorais para o fator 1(F1) e para o fator 2 (F2) referentes as características de produtividade de grãos (PG), altura de espiga (AE), altura de planta (AP), florescimento feminino (FF) e masculino (FM), UFLA, Lavras, MG, 2016. (continua)

Hib.	PG		AE		AP		FF		FM	
	F1	F2	F1	F2	F1	F2	F1	F2	F1	F2
26	-1,65	1,22	0,76	-0,17	0,53	0,75	-0,23	0,28	-0,49	-1,09
27	0,63	0,00	-0,11	0,00	-0,04	0,00	-0,01	-0,04	-0,11	0,07
28	1,12	-0,02	-1,22	0,07	-1,42	-0,59	0,03	-0,02	-0,09	0,05
29	-0,02	-1,11	0,35	0,10	1,00	-0,52	-0,52	0,45	-0,50	-0,38
30	0,49	-0,55	0,64	0,80	0,54	-0,36	1,48	-0,53	1,34	0,15
31	-0,11	-0,02	-1,60	-0,96	-0,75	-1,00	-0,05	-0,56	0,46	0,82
32	1,02	-0,79	-0,88	-0,42	-0,08	-0,29	1,02	-0,74	0,98	0,46
33	0,74	-0,04	0,37	0,00	-0,12	-0,06	0,31	-0,26	-0,49	0,29
34	0,17	0,20	1,16	0,29	0,83	0,66	0,19	-0,50	0,05	-1,41
35	-1,45	-0,41	1,97	0,16	-0,50	0,73	-0,43	-0,97	1,92	-1,98
36	0,72	1,52	1,25	0,62	1,02	0,59	0,92	-1,45	0,74	-0,90
37	0,37	-0,59	-0,50	0,20	1,04	-0,31	0,62	-0,40	0,11	-0,12
38	-0,79	-0,17	-0,92	0,57	-0,89	-0,50	0,02	0,08	-0,69	0,92
39	0,22	0,17	0,57	-0,12	0,29	-0,10	0,46	-0,17	0,77	-0,27
40	-1,03	-0,20	-0,36	-0,63	-1,13	-1,33	0,34	-0,35	1,17	0,32
41	-0,50	-0,21	1,03	-0,57	1,49	-0,13	0,62	-0,36	1,05	-0,32
42	-0,77	0,36	0,96	-0,61	0,22	-0,06	0,78	-0,53	1,16	-0,34
43	-0,31	1,22	-0,10	0,60	-1,45	-0,36	-1,22	0,41	-0,98	-0,21
44	-0,57	0,34	0,12	-0,02	0,27	-0,02	0,12	-0,10	-0,06	-0,01
45	-0,66	0,09	-2,25	1,07	-2,33	0,22	-0,04	0,06	-0,82	0,27
46	1,04	-0,08	-0,37	0,26	0,15	-0,01	-0,08	-0,02	-0,23	0,14
47	-0,37	-0,27	-0,49	0,26	-0,44	0,10	-1,24	0,84	-1,19	0,37
48	-0,22	0,48	-0,41	0,25	-0,13	0,03	-1,60	0,97	-1,98	0,62
49	0,10	-0,06	-0,53	0,36	-0,31	0,03	-0,69	0,49	-0,82	0,20
50	-0,13	0,25	-0,42	-0,12	0,30	-0,80	-0,49	0,29	-0,63	0,14
51	-0,04	-0,13	-0,50	0,30	-0,10	-0,07	-0,76	0,52	-0,75	0,28
52	0,20	-0,08	-0,28	0,13	0,79	-0,08	-0,21	0,19	0,32	-0,12
53	0,67	-0,85	-0,35	0,44	-0,61	0,98	0,13	0,20	0,14	0,54

Tabela 1 - Cargas e escores fatorais para o fator 1(F1) e para o fator 2 (F2) referentes as características de produtividade de grãos (PG), altura de espiga (AE), altura de planta (AP), florescimento feminino (FF) e masculino (FM), UFLA, Lavras, MG, 2016. (continuação)

Hib.	PG		AE		AP		FF		FM	
	F1	F2	F1	F2	F1	F2	F1	F2	F1	F2
54	0,49	-0,13	-0,28	0,30	-0,24	0,11	0,58	-0,42	0,87	0,08
55	0,20	-0,40	-0,61	-0,06	0,59	-0,83	0,29	-0,12	0,14	-0,41
56	1,06	-0,23	-0,94	0,28	-0,34	0,07	0,81	-0,56	0,27	-0,16
57	0,74	0,09	2,00	1,18	1,26	-0,03	1,24	-0,81	2,46	-0,72
58	0,25	-1,01	1,12	-0,21	0,45	-0,45	0,92	-0,64	1,48	0,50
59	0,30	-0,83	1,43	-0,33	0,07	0,97	1,38	-0,94	2,35	0,54
60	-0,33	1,14	-0,65	-0,16	-0,02	-0,08	0,82	0,57	1,11	0,38
61	0,31	-0,55	-0,77	0,20	-0,44	-0,39	-0,66	0,28	-0,63	0,00
62	0,35	-0,23	-0,81	-0,02	0,50	-0,65	-1,19	0,18	-0,66	-0,07
63	0,16	-0,63	0,30	-0,12	0,32	0,29	0,50	-0,10	0,36	0,21
64	-0,01	0,09	0,61	-0,18	-0,13	0,72	-0,87	0,38	-0,92	-0,17
65	-0,37	0,93	-0,22	0,09	-0,04	-0,29	-0,56	0,78	-0,82	-0,04
66	-0,13	1,86	0,78	0,13	-0,40	1,22	-1,06	-0,95	-0,63	-0,41
67	-0,27	0,79	0,42	-0,07	-0,16	0,01	0,02	0,03	-0,32	-0,13
68	-0,01	0,05	-0,29	0,20	-0,19	-0,85	0,13	0,10	0,26	-0,02
69	-0,06	0,19	0,24	-0,05	-0,70	0,54	1,15	-0,51	0,70	0,24
70	-0,20	0,44	-0,56	0,24	-0,21	0,48	-0,24	0,09	-0,86	-0,10
71	0,10	-0,10	-0,10	0,11	0,03	0,22	-1,24	0,99	-1,34	-0,58
72	-0,35	0,05	0,49	0,32	-0,92	2,02	-0,52	-1,26	-0,26	-0,60
73	0,06	-0,12	-0,47	0,69	-0,64	0,51	-0,22	0,32	-0,08	0,03
74	0,10	0,73	0,61	-0,65	0,63	-0,02	-0,26	-1,19	1,10	0,47
75	0,04	-0,29	-0,64	1,60	-1,63	-1,71	-1,93	-0,04	-1,85	-0,98
76	0,14	0,36	0,22	-0,67	0,32	0,66	-0,81	-0,13	-0,60	0,13
77	-0,05	0,84	0,50	-0,77	0,38	1,16	-0,24	-0,02	1,11	0,34
78	-0,51	0,56	0,75	-1,71	0,12	0,05	-0,96	1,62	-0,52	-0,15
79	0,10	0,05	0,55	-0,58	-0,59	0,30	0,11	-0,44	0,59	0,08
80	-0,07	-0,17	0,12	-0,62	0,05	-0,52	-0,07	0,23	0,40	0,18
81	0,01	-0,38	-0,06	-0,03	0,23	0,35	0,56	0,28	1,03	0,63
82	0,09	0,27	-0,16	0,30	0,49	0,19	1,01	-0,03	0,55	0,20
83	0,08	-0,38	-1,05	2,11	-0,86	-0,80	0,05	0,31	-0,45	-0,17
84	-0,02	-0,25	-0,20	0,28	0,43	0,23	0,06	-0,12	-1,01	-0,58

Tabela 1 - Cargas e escores fatorais para o fator 1(F1) e para o fator 2 (F2) referentes as características de produtividade de grãos (PG), altura de espiga (AE), altura de planta (AP), florescimento feminino (FF) e masculino (FM), UFLA, Lavras, MG, 2016. (continuação)

Hib.	PG		AE		AP		FF		FM	
	F1	F2	F1	F2	F1	F2	F1	F2	F1	F2
85	0,01	-0,62	-0,25	1,11	-0,09	0,07	0,49	0,25	-0,65	-0,26
86	0,10	1,28	-0,14	0,25	0,30	0,45	-0,98	-0,42	-0,94	-0,59
87	0,08	-1,09	0,36	-0,80	0,39	0,68	0,48	-0,24	0,85	0,34
88	0,10	0,54	0,43	-0,31	0,31	-0,19	-0,90	0,80	-0,50	-0,35
89	0,06	0,13	-0,13	0,36	0,26	0,20	0,97	-0,55	0,53	0,11
90	-0,03	-0,21	-0,69	-0,44	-0,94	0,73	-0,72	-1,06	0,25	-1,55
91	-0,24	0,92	0,09	0,76	0,33	0,92	-1,33	-0,81	-0,83	-1,26
92	0,02	0,22	0,00	-0,20	-0,22	-0,48	-1,49	-0,10	-1,22	-0,40
93	0,05	-0,29	-0,05	-0,19	0,57	0,35	0,48	0,30	-0,82	-0,38
94	0,01	-0,81	0,62	-1,43	0,46	0,45	0,30	0,12	-0,84	-0,41
95	0,01	-2,62	-0,24	0,30	-1,41	-1,99	0,74	0,76	-1,28	-0,41
96	-0,17	-0,18	-0,45	0,61	-0,69	0,07	1,51	-0,07	0,68	0,72
97	-0,14	-0,29	-0,25	0,40	-0,24	-0,99	0,49	0,57	0,03	0,23
98	-0,05	0,58	0,42	-1,19	1,08	0,31	-0,42	-0,07	-0,21	0,12
99	-0,38	1,60	1,16	-0,01	1,52	-0,04	0,07	-0,62	0,17	0,02
100	-0,21	0,97	0,97	-0,50	1,38	0,06	-0,27	-0,44	-0,34	-0,60
101	-0,52	0,49	0,61	-0,27	0,03	0,06	-1,94	-0,47	-1,00	-1,23
102	-0,03	0,16	-0,11	0,16	0,18	0,11	0,84	1,07	0,97	1,50
103	0,06	-0,31	0,46	-0,10	-0,60	0,00	0,82	0,15	0,66	0,63
104	-0,12	-0,19	1,05	-1,90	1,51	-0,77	1,27	-0,02	0,62	0,94
105	0,01	-0,05	0,68	-0,31	0,62	0,01	1,78	0,71	1,11	1,44
106	-0,05	0,23	-0,52	0,15	0,21	0,04	-0,66	-0,81	-0,46	-0,98
107	0,15	-0,72	-0,78	0,39	-0,83	-0,11	-0,39	-0,30	-0,08	-0,17
108	0,02	-0,09	0,46	-0,17	0,00	-0,06	0,59	0,31	0,68	1,06

Tabela 1 - Cargas e escores fatorais para o fator 1(F1) e para o fator 2 (F2) referentes as características de produtividade de grãos (PG), altura de espiga (AE), altura de planta (AP), florescimento feminino (FF) e masculino (FM), UFLA, Lavras, MG, 2016. (continuação)

Hib.	PG		AE		AP		FF		FM	
	F1	F2	F1	F2	F1	F2	F1	F2	F1	F2
109	0,14	-0,63	-0,44	0,16	-1,18	-0,15	-0,50	-0,03	-0,33	-0,25
110	-0,05	0,24	1,00	-0,40	0,03	0,08	0,48	0,07	-0,17	-0,10
111	0,08	-0,33	-1,31	0,70	-0,37	-0,01	0,17	0,35	0,31	0,67
112	-0,08	0,35	-1,71	0,77	0,74	0,01	-0,28	0,10	0,33	0,44
113	0,17	-0,81	-0,11	-0,03	-0,78	-0,09	-1,23	-0,38	-0,46	-0,38
114	-0,22	1,08	0,77	-0,41	0,96	0,03	0,47	0,24	-0,12	0,02
115	0,22	-1,03	-0,92	0,55	-0,81	0,10	-0,20	-0,37	-0,33	-0,44
116	0,09	-0,40	0,63	-0,33	0,43	-0,04	0,37	0,58	0,69	0,74
117	0,08	-0,38	1,14	-0,44	0,23	0,08	-0,07	0,33	0,16	0,17
118	0,17	-0,79	0,08	-0,21	0,63	-0,01	1,10	1,34	0,79	1,38
119	-0,15	0,97	-0,19	0,79	-0,23	-0,17	0,87	-0,38	-0,16	0,58
120	0,07	-0,32	-0,52	0,07	-0,79	-0,26	0,31	-0,02	0,23	0,32
121	-0,03	0,16	0,10	-0,08	1,00	-0,02	-0,31	0,03	0,61	0,68
122	-0,12	0,23	-1,29	0,47	-2,45	0,11	-0,77	0,59	-0,19	-0,59
123	0,15	-0,21	0,49	-0,67	-0,02	-0,19	0,26	0,01	0,19	0,16
124	0,01	-0,05	0,17	-0,15	0,55	0,31	0,43	-0,03	-0,48	-0,42
125	-0,33	-0,01	0,51	-0,19	0,77	0,34	-1,22	0,05	-0,20	-0,21
126	0,22	-0,86	-1,09	-0,17	-0,17	-1,04	-0,94	0,03	-0,49	-0,55
127	0,00	0,11	-0,55	0,36	-0,44	-0,54	-1,12	0,03	-0,58	-0,60
128	0,13	-0,51	-0,63	-0,24	-0,24	-0,38	-0,85	0,02	-0,62	-0,57
129	0,31	-0,19	0,64	-0,04	1,15	0,93	0,82	0,43	1,71	0,75
130	0,08	-0,12	-0,40	0,89	-0,60	-0,02	0,62	-0,03	0,00	0,08

Tabela 1 - Cargas e escores fatorais para o fator 1(F1) e para o fator 2 (F2) referentes as características de produtividade de grãos (PG), altura de espiga (AE), altura de planta (AP), florescimento feminino (FF) e masculino (FM), UFLA, Lavras, MG, 2016. (continuação)

Hib.	PG		AE		AP		FF		FM	
	F1	F2	F1	F2	F1	F2	F1	F2	F1	F2
131	0,09	-0,37	0,67	-0,15	-0,07	0,48	0,78	0,00	0,37	0,28
132	0,27	-0,01	-1,22	1,29	-1,93	-0,61	0,98	-0,05	-0,62	-0,53
133	-0,29	0,63	-0,80	0,79	-0,51	-0,14	0,45	0,01	-0,11	0,64
134	0,19	0,14	0,57	-0,24	0,52	0,30	1,57	0,01	0,77	1,20
135	0,10	-0,51	1,59	0,08	1,51	1,61	0,13	-0,11	-0,13	-0,17
136	-0,16	0,20	0,58	-1,52	0,65	-0,21	-0,34	0,00	-0,08	-0,09
137	0,05	-0,01	1,00	-0,30	-0,57	0,64	0,85	-0,07	0,24	0,09
138	-0,20	0,41	0,72	-0,44	0,46	-0,18	0,10	-0,02	-0,18	-0,18
139	-0,04	-0,18	1,04	-0,68	1,01	0,41	0,73	-0,05	-0,27	-0,41
140	-0,03	0,29	-0,85	0,72	-0,32	0,06	0,53	-0,51	0,17	-0,30
141	-0,34	0,51	-0,86	0,28	-0,81	-0,21	-0,29	0,09	-0,81	-0,68
142	0,73	-0,72	-0,66	1,14	-1,15	-0,52	1,76	-0,05	1,64	1,65
143	0,10	0,25	0,44	-0,33	0,14	0,10	0,70	-0,04	0,17	0,10
144	0,18	-0,01	0,37	0,31	-0,03	0,97	1,13	-0,03	0,75	0,75
145	0,21	0,00	-1,09	-0,68	-0,44	-0,28	1,25	-0,03	0,93	0,88
146	-0,32	0,22	0,05	-0,26	0,26	-0,18	-1,08	0,01	-0,36	-0,43
147	-0,07	-0,19	0,86	-0,16	-0,13	-0,61	0,04	0,02	0,11	0,12
148	-0,15	0,71	1,48	-1,16	1,63	-0,33	-0,21	-0,04	-0,20	-0,09
149	0,08	-0,06	-0,68	0,26	0,08	-0,02	1,29	0,37	0,46	1,10
150	-0,13	0,28	-0,03	-0,21	-1,13	0,20	0,62	0,29	0,03	0,55

Tabela 1 - Cargas e escores fatorais para o fator 1(F1) e para o fator 2 (F2) referentes as características de produtividade de grãos (PG), altura de espiga (AE), altura de planta (AP), florescimento feminino (FF) e masculino (FM), UFLA, Lavras, MG, 2016. (conclusão)

Hib.	PG		AE		AP		FF		FM	
	F1	F2	F1	F2	F1	F2	F1	F2	F1	F2
151	0,26	-0,32	-0,01	-0,12	-0,06	0,06	0,70	0,91	0,52	0,99
152	0,11	-0,33	-0,05	-0,02	0,55	-0,15	0,55	-0,38	0,06	0,06
153	0,46	-0,13	0,74	-0,69	0,56	-0,08	1,81	0,05	0,72	1,29
154	-0,04	0,10	-0,26	0,26	-0,24	0,00	1,47	0,17	0,66	1,06
155	-0,02	0,04	-0,06	-0,04	1,23	-0,16	-0,53	0,26	-0,10	-0,38
156	-0,30	-0,19	-0,20	0,13	-0,22	0,09	-0,52	-0,34	-0,38	-0,60
157	-0,18	0,03	0,78	-0,60	1,13	-0,24	-1,08	0,42	-0,49	-0,63
158	0,40	-0,23	-0,03	-0,05	0,00	0,03	0,17	-0,05	-0,05	-0,42
159	0,00	-0,22	-0,02	0,43	0,27	-0,11	-0,30	0,25	-0,04	-0,14
160	-0,10	0,05	-0,42	0,27	1,37	-0,28	0,91	-0,19	0,51	0,89
161	0,16	-0,36	-1,08	1,02	-1,62	0,31	-1,39	-0,51	-0,76	-1,56
162	-0,03	0,01	-0,94	0,71	-0,84	0,17	0,91	0,07	0,21	0,58
163	-0,19	0,10	-0,28	-0,13	0,17	0,02	0,73	0,43	0,54	0,95
164	-0,26	0,17	0,20	-0,07	0,20	-0,10	-0,24	-0,04	-0,11	-0,27
165	0,16	-0,24	-0,93	0,83	-0,17	0,05	0,86	-0,04	0,39	0,59
166	-0,15	0,35	0,22	0,15	0,86	-0,21	-0,62	-0,26	-0,22	-0,52
167	-0,09	0,02	0,01	-0,10	0,76	-0,20	-0,29	0,06	-0,27	-0,21
168	-0,25	0,11	-0,01	0,09	-0,13	0,11	-1,20	0,49	-0,54	-0,99
169	0,27	-0,55	0,49	-0,41	1,13	-0,27	-1,64	-0,27	-0,93	-1,53
170	0,06	0,00	1,56	-1,16	1,31	-0,28	0,09	0,16	0,15	0,19
171	0,00	0,14	-0,93	0,82	-1,54	0,24	-1,66	-0,77	-0,88	-1,49

Fonte: Do autor (2016)