



VIVIANE MARIA DE ABREU

**ANÁLISE DIALÉLICA E ESTRATÉGIAS PARA
A SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE MILHO
SUBMETIDOS AO ESTRESSE HÍDRICO NAS
FASES DE GERMINAÇÃO E EMERGÊNCIA DE
PLÂNTULAS**

**LAVRAS – MG
2016**

VIVIANE MARIA DE ABREU

**ANÁLISE DIALÉLICA E ESTRATÉGIAS PARA A SELEÇÃO DE
GENÓTIPOS DE MILHO SUBMETIDOS AO ESTRESSE HÍDRICO
NAS FASES DE GERMINAÇÃO E EMERGÊNCIA DE PLÂNTULAS**

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.

Orientadora
Dra. Édila Vilela de Resende Von Pinho

LAVRAS – MG

2016

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pela própria autora.**

Abreu, Viviane Maria de.

Análise dialélica e estratégias para a seleção de genótipos de milho submetidos ao estresse hídrico nas fases de germinação e emergência de plântulas/ Viviane Maria de Abreu. – Lavras : UFLA, 2016.

138p. : il.

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

Orientadora: Édila Vilela de Resende Von Pinho.

Bibliografia.

1. Controle Genético. 2. Heterose. 3. Seleção de genótipos. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

VIVIANE MARIA DE ABREU

**ANÁLISE DIALÉLICA E ESTRATÉGIAS PARA A SELEÇÃO DE
GENÓTIPOS DE MILHO SUBMETIDOS AO ESTRESSE HÍDRICO
NAS FASES DE GERMINAÇÃO E EMERGÊNCIA DE PLÂNTULAS**

**DIALLEL ANALYSES AND STRATEGIES FOR MAIZE GENOTYPES
SELECTION SUBMITTED TO WATER STRESS IN GERMINATION
AND SEEDLING EMERGENCE STAGES**

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 08 de setembro de 2016

Dra. Flávia Barbosa Silva Botelho	UFLA
Dr. José Luiz de Andrade Rezende Pereira	IFSULDEMINAS
Dra. Marcela Pedroso Mendes Resende	UFG
Dr. Renzo Garcia Von Pinho	UFLA

Dra. Édila Vilela de Resende Von Pinho
Orientadora

**LAVRAS – MG
2016**

Aos meus pais, José Mauro de Abreu e Maria Nazaré do Carmo Abreu, por todo apoio, confiança, incentivo e por serem meu exemplo de vida.

Com todo amor

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, por abençoar minha caminhada e me conceder mais esta conquista.

Aos meus pais, José Mauro de Abreu e Maria Nazaré do Carmo Abreu, pelo incentivo, apoio, amor e compreensão.

A toda minha família, por me apoiarem e estarem sempre ao meu lado.

Ao meu namorado Gabriel, por ser meu companheiro e amigo nos momentos de cumplicidade e por todo apoio e incentivo nas horas difíceis.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao programa de pós-graduação em Fitotecnia, pela minha formação profissional e oportunidade.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior -Capes, pela concessão da bolsa de estudos.

A minha orientadora, Édila Vilela de Resende Von Pinho, por ter me acolhido desde o início da graduação, com muito carinho e atenção e pelo exemplo de pessoa, dedicação e amor à profissão.

Aos coorientadores, Renzo Von Pinho e Heloisa Oliveira Santos, pelo auxílio prestado durante a execução da pesquisa.

A professora Marcela Mendes, por toda ajuda, apoio e orientação fundamental na etapa final do doutorado.

Ao professor Márcio Balestre e aos alunos Carlos e Joel, pela ajuda com as análises dialéticas.

Aos professores do Setor de Sementes, por todo conhecimento transmitido que muito contribuiu para minha formação pessoal e profissional.

À Cornell University, especialmente ao professor Dr. Tim Setter e ao técnico Peter Hyde, por todo ensinamento, amizade e pela inesquecível experiência vivida durante um ano.

Aos amigos de Ithaca – NY, Milena, Lorena, Marcus, Larissa, Carlos, Patric, Carla, Arina, Bruno, Jaqueline, Sueli, Itaraju e demais, por todos os momentos compartilhados e por se tornarem minha família durante o ano de 2015.

Aos amigos, em especial, Izabel, Iracema, Joana, Glória, pelo apoio e compreensão nas horas em que não pude estar sempre presente.

À Cinthia Rodrigues, pela amizade, companheirismo e por toda ajuda disponibilizada durante o doutorado.

Aos amigos da Pós-graduação, Milena, Gabriel Castanheira, Michele, Gabriele, Diego, Tatiane, Renata, Stefânia, Bárbara, Raquel, Dailyane, Mayara, Marcela, Édila, Camila, Ariadne e demais, por compartilharem comigo as mesmas angústias e alegrias.

Aos companheiros de trabalho do G-Milho, em especial, ao Leandro, Álvaro, Cinthia, João Paulo, Vitor, Marco Antônio, Bruno, Rodolfo, Luiz Antônio, Rafael, Juan, Arthur, Lucas, Rafaela, Ewerton, por toda a ajuda na condução dos experimentos em campo e pelos vários momentos de diversão.

Aos estagiários do laboratório de sementes, porque sem vocês não teria feito quase nada.

Aos funcionários do setor de sementes, pelo auxílio na execução dos experimentos e amizade.

A todos que de alguma forma me ajudaram na realização deste trabalho.

MUITO OBRIGADA!

RESUMO

A caracterização precoce de genótipos de milho, bem como o estudo dos caracteres genéticos associados à tolerância ao estresse hídrico, pode fornecer parâmetros que auxiliam a seleção de cultivares adaptadas. Assim, o objetivo neste trabalho foi estudar o controle genético e avaliar estratégias para a seleção de genótipos de milho, por meio da qualidade fisiológica de sementes submetidas ao estresse hídrico. Foi instalado um campo de produção de sementes híbridas, incluindo os recíprocos, utilizando-se o sistema dialelo parcial, mais as oito linhagens genitoras (L91, L63, L37, L32 – grupo 1 (tolerantes); L75, L31, L57 e L24 – grupo 2 (não tolerantes)), previamente classificadas quanto à tolerância ao estresse hídrico. As sementes foram germinadas em bandejas, contendo substrato areia, em dois ambientes. No primeiro, denominado de “ambiente sem estresse”, a umidade do substrato foi ajustada para capacidade de retenção de água de 70% e, no segundo, denominado ambiente com estresse, a capacidade de retenção de água foi de 10%. Foram avaliados a emergência de plântulas, o índice de velocidade de emergência (IVE), comprimento de parte aérea (CPA), comprimento radicular (CR), número de raízes seminais (NR), peso seco da parte aérea (PSF) e peso seco de raízes (PSR). Foram estimados os componentes de heterose, os efeitos da capacidade geral (CGC) e específica (CEC) de combinação, bem como os efeitos recíprocos. O desempenho dos genótipos, em relação ao estresse hídrico, foi avaliado por meio da análise de componentes principais (PCA), índice de seleção de genótipos em relação à tolerância ao estresse hídrico (IS), índice Z e gráfico de classificação quanto à tolerância e responsividade. Foi observada expressão da heterose para a tolerância ao estresse hídrico em sementes de milho, principalmente, para as características de raiz. Em relação ao controle genético da tolerância ao estresse hídrico, verificou-se que os genes de efeito não aditivo são mais importantes para a maioria das características avaliadas. Maiores estimativas de CGC são observadas para as linhagens L91, L75 e L63, e maiores estimativas de CEC para os híbridos H91X75, H91x24, H91x31 e H63x31. Há efeito recíproco para qualidade fisiológica de sementes submetidas ao estresse hídrico. O IS é eficiente na discriminação dos genótipos de milho quanto à tolerância ao estresse hídrico por meio da característica NR. O método gráfico de classificação quanto à tolerância e responsividade ao estresse hídrico, o índice Z e a PCA possibilitam selecionar genótipos superiores quanto a tolerância ao estresse hídrico nas fases de germinação e emergência. Os genótipos L91, L75, H91x75, R75x91, R57x91, R31x63, R31x91 e R24x91 mostram-se os mais promissores quanto à tolerância ao estresse hídrico na germinação.

Palavras-chave: Controle genético. Heterose. Seleção de genótipos.

ABSTRACT

Early characterization of maize genotypes, as well as the study of genetic traits associated with water stress tolerance, can provide parameters that will assist in the selection of adapted cultivars with higher yield. This research aims the study of genetic control and evaluate strategies for maize genotypes selection, through physiological quality of seeds submitted to water stress. A field was installed to obtain hybrid seeds, including reciprocal hybrid, using partial diallel design, further eight progenitors inbred line (L91, L63, L37, L32 – group 1 (tolerant); L75, L31, L57 e L24 – group 2 (non-tolerant)), previous characterized in relation to water stress. All seed genotypes were germinated in trays with sand, in two environments. The first, called “without stress environment”, had its field capacity adjusted to 70%, and the second, called stress environment, with field capacity of 10%. It was assessed the seedling emergence, emergence speed index (IVE), shoot length (CPA), root length (CR), number of seminal roots (NR), shoot dry weight (PSF) and roots dry weight (PSR). The heterosis effect, the general combining ability (GCA), the specific combining ability (SCA) and the reciprocal effects were estimated. The genotype performance in relation to water stress was assessed by principal components analyzes, selection index regarding to water stress tolerance (IS), Z index, and classification graphic as tolerance and responsiveness. Heterosis is observed for water stress tolerance, manly for root traits. In the genetic control of water stress tolerance, non-additive genes are more important for most of the evaluated characteristics. Higher estimates of GCA are observed in L91, L75 and L63 lines, and higher estimates of SCA in H91x75, H91x24, H91x31 and H63x31 hybrids. There are reciprocal effects for physiological quality of seeds. The selection index (IS) is efficient to separate maize genotypes regarding water stress tolerance by NR characteristic. Classification graphic regarding tolerance and responsiveness methods, Z index and principal components analyzes allows superior genotypes selection regarding water stress tolerance. L91, L75, H91x75, R75x91, R57x91, R31x63, R31x91 e R24x91 genotypes shown to be the most promising for water stress tolerance on germination.

Keywords: Genetic control. Heterosis. Genotype selection.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 - Representação gráfica dos valores estimados pelo Índice Z para as linhagens na média conjunta dos ambientes para as características de índice de velocidade de emergência (IVE), emergência (EMERG), comprimento de parte aérea (CPA), comprimento radicular (CR), número de raízes seminais (NR), peso seco da parte aérea (PSF) e peso seco de raízes (PSR) 114
- Figura 2 - Representação gráfica dos valores estimados pelo Índice Z dos híbridos e recíprocos mais contrastantes na média conjunta dos ambientes para as características de índice de velocidade de emergência (IVE), emergência (EMERG), comprimento de parte aérea (CPA), comprimento radicular (CR), número de raízes seminais (NR), peso seco da parte aérea (PSF) e peso seco de raízes (PSR)..... 115
- Gráfico 1 - Análise de componentes principais (IPCA1 e IPCA2), para os dados da interação CGC x Variáveis 71
- Gráfico 2 - Biplot AMMI 2 com os dois primeiros componentes principais de interação (IPCA1 e IPCA2), para dados de CGC x Ambientes relacionados à característica índice de velocidade de emergência (IVE) 73
- Gráfico 3 - Biplot AMMI 2 com os dois primeiros componentes principais de interação (IPCA1 e IPCA2), para dados de CGC x Ambientes relacionados à característica número de raízes seminais (NR) 74
- Gráfico 4 - Biplot AMMI 2 com os dois primeiros componentes principais de interação (IPCA1 e IPCA2), para dados de CGC x Ambientes relacionados à característica comprimento radicular (CR) 75
- Gráfico 5 - Análise de componentes principais (IPCA1 e IPCA2), para os dados da interação CEC x Variáveis 77
- Gráfico 6 - Biplot AMMI 2 com os dois primeiros componentes principais de interação (IPCA1 e IPCA2), para dados de CEC x Ambiente relacionados à característica índice de velocidade de emergência (IVE) 78

Gráfico 7 - Biplot AMMI 2 com os dois primeiros componentes principais de interação (IPCA1 e IPCA2), para dados de CEC x Ambiente relacionados à característica comprimento radicular (CR).....	78
Gráfico 8 - Biplot AMMI 2 com os dois primeiros componentes principais de interação (IPCA1 e IPCA2), para dados de CEC x Ambiente relacionados à característica número de raízes seminais (NR).....	79
Gráfico 9 - Análise multivariada de componentes principais (PCA) entre os genótipos de milho e as características de índice de velocidade de emergência (IVE), emergência (EMERG), comprimento de parte aérea (CPA), comprimento radicular (CR), número de raízes seminais (NR), peso seco da parte aérea (PSF) e peso seco de raízes (PSR).....	107
Gráfico 10 - Classificação dos genótipos de milho quanto à tolerância e responsividade ao estresse hídrico para os valores estimados pelo Índice z.....	116
Quadro 1 - Descrição das linhagens de milho utilizadas no dialelo parcial	50

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Valores médios de vigor, avaliados pelo teste de envelhecimento acelerado das sementes das linhagens, híbridos e recíprocos58
- Tabela 2 - Razão entre comprimento radicular (CR) e comprimento de parte aérea (CPA), para os ambientes com e sem estresse, e a diferença entre os ambientes (continua...).....63
- Tabela 3 - Estimativas dos componentes de variância da capacidade geral de combinação (σg), capacidade específica de combinação (σs) e de suas interações com os ambientes, para as características de índice de velocidade de emergência (IVE), emergência (EMERG), comprimento de parte aérea (CPA), comprimento radicular (CR), número de raízes seminais (NR), peso seco da parte aérea (PSF) e peso seco de raízes (PSR)67
- Tabela 4 - Estimativas dos efeitos de capacidade geral de combinação (g) para as características de índice de velocidade de emergência (IVE), emergência (EMERG), comprimento de parte aérea (CPA), comprimento radicular (CR), número de raízes seminais (NR), peso seco da parte aérea (PSF) e peso seco de raízes (PSR).....69
- Tabela 5 - Estimativas dos efeitos da capacidade específica de combinação (s) para as características de índice de velocidade de emergência (IVE), emergência (EMERG), comprimento de parte aérea (CPA), comprimento radicular (CR), número de raízes seminais (NR), peso seco da parte aérea (PSF) e peso seco de raízes (PSR).....76
- Tabela 6 - Estimativas dos componentes de variância de CGC (g), CEC (s), recíprocos (r) e das interações com os ambientes, para as características de índice de velocidade de emergência (IVE), emergência (EMERG), comprimento de parte aérea (CPA), comprimento radicular (CR), número de raízes seminais (NR), peso seco da parte aérea (PSF) e peso seco de raízes (PSR).....80
- Tabela 7 - Estimativas dos efeitos recíprocos obtidos pelo modelo III (Griffing, 1956) para as características de índice de velocidade de emergência (IVE), emergência (EMERG), comprimento de parte aérea (CPA), comprimento radicular (CR), número de raízes seminais (NR), peso seco da parte aérea (PSF) e peso seco de raízes (PSR), considerando-

se todos os cruzamentos em que foram obtidos híbridos e recíprocos82

Tabela 8 - Efeito recíproco para as características de envelhecimento acelerado (EA), índice de velocidade de emergência (IVE), emergência (EMERG), comprimento de parte aérea (CPA), comprimento radicular (CR), número de raízes seminais (NR), peso seco da parte aérea (PSF) e peso seco de raízes (PSR), considerando-se todos os cruzamentos em que foram obtidos híbridos e recíprocos 84

Tabela 9 - Estimativas dos coeficientes de correlação de Spearman entre as médias observadas no ambiente controle, estresse e na média conjunta dos ambientes para as características de índice de velocidade de emergência (IVE), emergência (EMERG), comprimento de parte aérea (CPA), comprimento radicular (CR), número de raízes seminais (NR), peso seco da parte aérea (PSF) e peso seco de raízes (PSR)..... 104

Tabela 10 - Estimativas dos coeficientes de correlação de Spearman entre as características de índice de velocidade de emergência (IVE), emergência (EMERG), comprimento de parte aérea (CPA), comprimento radicular (CR), número de raízes seminais (NR), peso seco da parte aérea (PSF) e peso seco de raízes (PSR) para os ambientes controle, estresse e na média conjunta dos ambientes ... 105

Tabela 11 - Índice de seleção dos genótipos de milho em relação à tolerância ao estresse hídrico para as características de índice de velocidade de emergência (IVE), emergência (EMER), comprimento de parte aérea (CPA), comprimento radicular (CR), número de raízes seminais (NR), peso seco da parte aérea (PSF) e peso seco de raízes (PSR)..... 108

Tabela 12 - Estimativas para o índice Z dos genótipos de milho para os ambientes com e sem estresse e para a média conjunta dos ambientes 111

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	15
1 INTRODUÇÃO GERAL	15
2 REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1 Considerações sobre a cultura do milho no Brasil	17
2.2 Estresse pela baixa disponibilidade hídrica	19
2.3 Melhoramento genético para a tolerância ao estresse hídrico.....	24
2.3.1 Escolha do germoplasma.....	25
2.3.2 Seleção	25
2.3.3 Fenotipagem	28
2.4 Controle Genético da tolerância ao estresse hídrico em milho.....	31
REFERÊNCIAS	36
CAPÍTULO 2 CAPACIDADE DE COMBINAÇÃO E HETEROSE EM SEMENTES DE MILHO SUBMETIDAS AO ESTRESSE HÍDRICO NAS FASES DE GERMINAÇÃO E EMERGEÊNCIA DE PLÂNTULAS	45
1 INTRODUÇÃO	47
2 MATERIAL E MÉTODOS	49
2.1 Obtenção dos cruzamentos dialélicos.....	49
2.2 Avaliação inicial do perfil da qualidade fisiológica de sementes por meio do teste de envelhecimento acelerado	51
2.3 Avaliação da qualidade fisiológica de sementes de milho submetidas ao estresse hídrico.....	51
2.4 Heterose.....	53
2.5 Análise dialélica via modelos mistos	54
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	58
3.1 Qualidade fisiológica de sementes, vigor de plântulas e heterose.....	58
3.2 Análise da capacidade de combinação.....	66
3.3 Estimativas do efeito de capacidade geral e específica de combinação.....	68
3.4 Efeito recíproco.....	80
4 CONCLUSÕES	86
REFERÊNCIAS	87
CAPÍTULO 3 ESTRATÉGIAS PARA SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE MILHO TOLERANTES AO ESTRESSE HÍDRICO NAS FASES DE GERMINAÇÃO E EMERGÊNCIA DE PLÂNTULAS	92

1	INTRODUÇÃO	94
2	MATERIAL E MÉTODOS	96
2.1	Obtenção dos cruzamentos dialélicos.....	96
2.2	Avaliação da qualidade fisiológica de sementes submetidas ao estresse hídrico.....	98
2.3	Análise de Componentes Principais.....	100
2.4	Índice de seleção de genótipos em relação à tolerância ao estresse hídrico.....	100
2.5	Índice da soma das variáveis padronizadas - Índice Z.....	101
2.6	Gráfico de classificação dos genótipos quanto à tolerância e à responsividade ao estresse hídrico	102
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	104
4	CONCLUSÕES.....	118
	REFERÊNCIAS	119
	APÊNDICE A	122
	APÊNDICE B.....	134

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO GERAL

A agricultura é umas das atividades mais dependentes das variáveis climáticas, como temperatura, pluviosidade, radiação solar, entre outras, e as alterações desses fatores climáticos afetam o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade das culturas agrícolas.

Dentre os diversos tipos de estresse abióticos, aos quais as plantas estão sujeitas, o estresse pela baixa disponibilidade hídrica é um dos fatores que mais limitam o desenvolvimento vegetal.

No Brasil, os efeitos do estresse hídrico sobre a produção de grãos são evidentes. Na cultura do milho, que representa 35,9% da produção total de grãos do país, o estresse pela baixa disponibilidade hídrica tem causado a redução significativa da produção de grãos, principalmente, na segunda safra (CONAB, 2016).

Diante disso, torna-se evidente a necessidade de utilização de genótipos tolerantes ao estresse hídrico, como uma ferramenta eficiente, para o aumento da produtividade e redução dos riscos de produção em áreas sujeitas a estresse hídricos, além da introdução de novas áreas agricultáveis.

Nas últimas décadas, têm sido realizados estudos relacionados ao controle genético da tolerância ao estresse hídrico em milho, principalmente, na fase reprodutiva. No entanto, as plantas estão sujeitas ao estresse hídrico desde a germinação até a fase de maturação de grãos e poucos trabalhos têm sido voltados para o controle genético desta característica em sementes.

A caracterização, precoce, de genótipos com tolerância ao estresse hídrico, por meio de avaliações da qualidade fisiológica de sementes, pode fornecer parâmetros que auxiliam a seleção de cultivares produtivas e mais

adaptadas nessas condições de estresse, uma vez que exigem menor tempo e espaço, são relativamente de fácil e rápida avaliação, e podem ser repetidas várias vezes ao longo do ano.

Dentre as estratégias do melhoramento genético visando à obtenção de novas cultivares adaptadas a ambientes de estresse, o estudo do controle genético, por meio da análise da capacidade combinatória, é uma das mais eficientes. A análise de cruzamentos dialélicos permite obter estimativas de parâmetros genéticos úteis na seleção dos genitores para hibridação e no entendimento da natureza e magnitude dos efeitos genéticos envolvidos no controle genético dos caracteres (CRUZ; REGAZZI, CARNEIRO, 2012).

Assim, o objetivo neste trabalho foi estudar o controle genético e avaliar estratégias para a seleção de genótipos de milho, por meio da qualidade fisiológica de sementes submetidas ao estresse hídrico.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Considerações sobre a cultura do milho no Brasil

A estimativa da produção brasileira de grãos, para a safra de 2015/16, é de 186,4 milhões de toneladas, 10,3% a menos quando comparado com a safra 2014/15 (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2016). Para a cultura do milho, que representa 35,9% da produção total de grãos no país, foram estimados 66,9 milhões toneladas, para a safra total, o que representa redução de 20,2% em relação à safra de 2014/15.

De acordo com a ABRASEM (2014), foram produzidas, aproximadamente, 342 mil toneladas de sementes na safra 2013/2014 e a taxa de utilização de sementes foi cerca de 90%, valor considerado alto quando comparado ao de outras espécies. Para atender a demanda da produção de grãos de milho, foram disponibilizados para a safra 2015/2016, 477 cultivares de milho, sendo 284 cultivares transgênicas e 193 cultivares convencionais (CRUZ et al., 2015).

O cultivo de milho tem sido realizado em grande parte do território nacional, em diversos níveis de tecnologia e investimento e em duas épocas de semeadura, a primeira e segunda safra. Na primeira safra, também chamada de safra de verão, foram produzidos 25,85 milhões de toneladas (14,1% a menos em relação à safra passada) em 5,4 milhões de hectares (redução de 12,3%). O plantio da primeira safra ocorre no período chuvoso e abrange, praticamente, todos os estados brasileiros.

Já para a segunda safra, anteriormente denominada de safrinha, foram plantados 10,5 milhões de hectares, 10,3% a mais em relação à safra 2014/15 e 51,4% a mais que a primeira safra, o que evidencia a importância dessa safra para a produção de milho no país. No entanto, apesar do aumento significativo na área

plantada, foi estimada redução recorde de 24,7% na produção, a qual foi de 41,1 milhões de toneladas. A produtividade da cultura de 4 mil kg/ha, também foi a menor vista nos últimos dez anos e 29% a menos que a da safra passada (CONAB, 2016). A segunda safra, de acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA Milho e Sorgo (2015), refere-se ao milho de sequeiro, com plantio de janeiro até meados de abril, geralmente, após a colheita da soja precoce e abrange, principalmente, a região Centro-Oeste e os estados do Paraná, São Paulo e Minas Gerais.

Os sistemas de produção da segunda safra têm sido adaptados e aperfeiçoados ao longo dos últimos anos, o que tem contribuído para elevar a produtividade. No entanto algumas limitações ainda são observadas, tais como altas e baixas temperaturas e o estresse hídrico, sendo este último o principal agente causador na quebra da safra de milho.

De acordo com a CONAB (2016), a deficiência hídrica observada entre os meses de março a junho, em algumas regiões do país, causou a redução significativa da produção de milho, a exemplo dos estados do Paraná, Mato Grosso do Sul, São Paulo, Minas Gerais, Mato Grosso e Goiás, nos quais houve perdas de até 100% em algumas lavouras.

No intuito de minimizar esse problema, em programas de melhoramento de plantas têm sido realizadas seleções de cultivares de alto desempenho e, ao mesmo tempo, tolerantes a períodos de estiagem. A identificação e a compreensão dos mecanismos de tolerância ao estresse hídrico são fundamentais ao desenvolvimento de novos genótipos comerciais mais tolerantes a esse estresse abiótico (SHAO et al., 2008).

2.2 Estresse pela baixa disponibilidade hídrica

As plantas estão geralmente sujeitas à incidência de uma série de estresses bióticos ou abióticos. Dentre estes, o estresse pela baixa disponibilidade hídrica é um dos que mais afeta os cultivos agrícolas, pois impacta diretamente no metabolismo, crescimento vegetal e na produção (RAO; CHAITANYA, 2016).

As respostas das plantas à ocorrência do estresse hídrico são consideradas complexas, envolvendo mudanças adaptativas ou efeitos deletérios (CHAVES et al., 2002). As plantas estão sujeitas ao estresse hídrico em qualquer estágio do seu desenvolvimento, requerendo diferentes mecanismos de tolerância (ROY; TUCKER; TESTER, 2011). Além disso, em condições de campo, uma série de outros estresses abióticos podem prejudicar o desenvolvimento vegetal, tais como variações na temperatura ou na salinidade do solo. Dessa forma, diversos mecanismos podem ser usados pelas plantas para tolerar esses estresses (ROY; TUCKER; TESTER, 2011).

Algumas estratégias são adotadas pelas plantas para tolerar o estresse hídrico. Na primeira delas, o escape, as plantas evitam o estresse por meio da redução no seu ciclo de vida, adotando uma rápida germinação ou florescimento antecipado. O retardo da desidratação é considerado uma segunda estratégia, no qual as plantas se mantêm vivas, minimizando os efeitos adversos desse estresse, por meio do fechamento dos estômatos ou pelo aumento da razão raiz/parte aérea. A tolerância à desidratação é o mecanismo pelo qual as plantas mantêm seu metabolismo, por meio do acúmulo de solutos compatíveis e da produção de espécies reativas de oxigênio (VERSLUES; JUENGER, 2011).

De maneira geral, o desenvolvimento vegetal sob condições de estresse hídrico é influenciado pela alteração nos processos fisiológicos, bioquímicos, moleculares e morfológicos das plantas (SHAO et al., 2008). Alterações fisiológicas, como o fechamento dos estômatos, redução do potencial hídrico

foliar, perda de turgor celular e redução na eficiência fotossintética são as mais comumente observadas. De acordo com Chaves et al. (2002), o fechamento dos estômatos está mais relacionado com a quantidade de água no solo que o potencial hídrico foliar em si, desencadeando respostas a sinais químicos que, na maioria das vezes, correspondem ao ácido abscísico produzido pelas raízes.

Algumas mudanças metabólicas também ocorrem como resultado do estresse, tais como redução na atividade das enzimas nitrato redutase e sacarose-fosfato sintase. Essas mudanças contribuem para manutenção da pressão osmótica dentro das células fotossintéticas, por meio do aumento da concentração de nitrato e redução do fluxo de carboidrato. Além disso, a redução do crescimento foliar também contribui para a acumulação de soluto e ajustamento osmótico (CHAVES et al., 2002)

Do ponto de vista molecular, o estresse hídrico pode induzir três tipos de modificações nas plantas: alteração na expressão de genes envolvidos na manutenção da vida da planta; produção e degradação de proteínas com resposta direta ao estresse e alteração na produção de metabólitos bioquimicamente relacionados que podem conferir tolerância ao estresse (SHANKER et al., 2014). O estresse hídrico também induz a expressão de proteínas não relacionadas especificamente com o estresse, mas envolvidas com as reações contra o dano celular, tais como as *heat shocks proteins* (RICCARDI et al., 1998).

De acordo com Yang et al. (2010), os genes relacionados à tolerância ao déficit hídrico podem ser classificados, de acordo com sua função biológica, tais como aqueles que regulam a transcrição, RNA pós-transcricional ou osmoprotetores.

Em diversos trabalhos, foram observados locos de caracteres quantitativos (QTLs) relacionados à tolerância ao estresse hídrico (TRACHSEL et al., 2016; PESTSOVA et al., 2015; MESSMER, et al., 2011). No entanto esses resultados ainda não mostraram aplicação prática para o melhoramento de

plantas, principalmente, pela dificuldade na identificação de genes com efeito mensurável em relação à tolerância ao estresse hídrico em milho (ZHANG et al., 2016).

Marino et al. (2008), encontraram 252 genes relacionados significativamente pelo estresse hídrico em uma população de 142 linhagens de milho recombinantes. Em outro estudo, no qual 318 linhagens de milho foram avaliadas, por meio da técnica de seleção genômica ampla (GWS), foram encontrados dez genes que explicaram 18,4% da variação para tolerância ao estresse hídrico. No entanto a maior parte da variação fenotípica não é facilmente explicada, já que o controle genético da tolerância ao estresse hídrico em milho é um caráter complexo, controlado por um número representativo de genes de pequeno efeito e, possivelmente, epistáticos (ZHANG et al., 2016), além de apresentar grande interação genótipos por ambientes (EDMEADES, 2013).

Nas últimas décadas, foram realizados diversos estudos relacionados ao controle genético da tolerância ao estresse. No entanto a capacidade de fenotipagem é mais complexa e o progresso genético para essa característica só é alcançado com a condução de experimentos em mais ambientes (CAMPOS et al., 2004).

Na cultura do milho, algumas mudanças morfológicas em condições de estresse hídrico são relevantes. O caráter “stay-green” está, diretamente, relacionado à fotossíntese prolongada após o florescimento, possibilitando mais acúmulo de carboidratos nas folhas e caules e, conseqüentemente, aumento da tolerância a estresses bióticos e abióticos (COSTA et al., 2008; ABREU, 2013). O enrolamento das folhas é uma característica tipicamente observada em condições de estresse. Essa característica parece ser controlada por poucos genes, predominantemente aditivos, pouco influenciados pelo ambiente, o que facilita a seleção (ENTRINGER et al., 2014). Além disso, o estresse hídrico, durante o florescimento, atrasa a emissão dos estilo-estigmas, aumentando o intervalo entre

os florescimentos feminino e masculino (IFMF) (EDMEADES et al., 2013). Menor intervalo entre florescimento é uma das principais estratégias adotadas em programas de melhoramento de milho.

No entanto essas características são visíveis apenas ao final do ciclo da cultura e, na maioria das vezes, exigem grande área para a implantação de experimentos em campo, demandando tempo e mão de obra. Além disso, a tolerância às condições de estresse hídrico é variável dependendo do estágio de desenvolvimento da cultura, visto que as plantas estão sujeitas ao estresse desde a germinação até a fase de maturação de grãos.

Embora muito se destaque a respeito dos efeitos do estresse hídrico na planta em si, poucos trabalhos têm sido voltados para semente. De acordo com Kranner et al. (2010), as sementes, em geral, são altamente vulneráveis à incidência do estresse, durante o desenvolvimento ou na germinação, resultando na perda do vigor ou viabilidade, que, conseqüentemente, faz desse órgão um modelo atrativo para estudo do estresse.

A semente de milho é composta por embrião, endosperma e tegumento. O desenvolvimento da semente de milho inicia-se com a dupla fertilização na qual um dos núcleos do grão de pólen une-se à oosfera, dando origem ao embrião ($2n$), e o outro núcleo do grão de pólen une-se aos dois núcleos polares do óvulo originando o endosperma ($3n$). Assim, o embrião contém 50% dos cromossomos do genitor masculino e 50% do genitor feminino, e o endosperma corresponde a 66,66% dos cromossomos materno e 33,33% paterno (VEIT et al., 1993).

Durante a germinação das sementes, ocorre uma série de reações de hidrólise e síntese de substâncias e tecidos, as quais exigem plena disponibilidade de água. Além de mediar os processos metabólicos do desenvolvimento, a água é responsável pela manutenção da organização do sistema de membranas celulares (MARCOS FILHO, 2005).

Em condições normais de campo, as sementes de milho absorvem água, intumescem e começam a germinar. A radícula é a primeira a apresentar alongação, seguida pelo coleótilo com plúmula fechada e as três ou quatro raízes seminais laterais (SILVA et al., 2006).

Estresse hídricos, durante o processo de germinação, podem impedir a germinação, alterar a velocidade, o tempo e a uniformidade da germinação, comprometendo o estabelecimento da cultura. Deficiências hídricas posteriores poderão paralisar o crescimento, bem como retardar o desenvolvimento reprodutivo das plantas (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000).

A qualidade fisiológica, adquirida durante o desenvolvimento das sementes, pode ser perdida por processos deteriorativos, na presença de estresse hídrico, alterando a velocidade, o tempo e a uniformidade da germinação ou, ainda, comprometendo o estabelecimento da cultura. Entretanto os níveis de respostas, em relação a estas variáveis, dependem tanto do grau do estresse quanto da tolerância da espécie (KRANNER et al., 2010).

O estresse hídrico reduziu a porcentagem de plântulas normais fortes para quase todos os híbridos de milho pipoca avaliados por Mortele et al. (2008). Ávila, Braccini e Scapim (2007), ao avaliarem o desempenho de plântulas de milho sob condições de estresse hídrico, simuladas por solução de manitol, observaram que, nos potenciais hídricos de -0,3 MPa; -0,6 MPa e -0,9 Mpa, houve uma redução do comprimento das plântulas. Resultados parecidos também foram encontrados por Vieira et al. (2013). De acordo com esses autores, quanto mais negativo o potencial hídrico da solução, menores são os comprimentos de parte aérea das plântulas. Em trabalho de Abreu et al. (2014) também foi observado que a imposição do estresse hídrico de -0,9 Mpa afetou a qualidade fisiológica e o vigor das sementes de todas as linhagens avaliadas.

Nesse sentido, a avaliação fenotípica em plântulas de milho é considerada uma excelente ferramenta, que exige menor tempo e espaço, é relativamente de

fácil e rápida avaliação e pode ser repetida várias vezes ao longo do ano, auxiliando os programas de melhoramento (MEEKS et al., 2013; PACE et al., 2014).

2.3 Melhoramento genético para a tolerância ao estresse hídrico

A tolerância aos estresses abióticos é controlada por características tipicamente quantitativas, complexas e altamente influenciadas pela interação genótipos por ambientes (ROY; TUCKER; TESTER, 2011).

De acordo com Câmara et al. (2007), a existência da variação ambiental reduz a eficiência da seleção para a produtividade em condições de estresse hídrico, uma vez que a herdabilidade do caráter é reduzida nesses ambientes. Assim, a obtenção de genótipos produtivos e tolerantes a diversos tipos de estresses abióticos tem sido um dos principais desafios para os programas de melhoramento (DURÃES et al., 2005).

Com o avanço de estudos na área de biologia molecular, diversas pesquisas têm sido realizadas com o objetivo de estudar as rotas metabólicas e a função dos genes envolvidos na tolerância a um determinado tipo de estresse. Entretanto essas informações, ainda, não são frequentemente adotadas em programas de melhoramento, uma vez que, ainda, não foi possível relacionar diretamente essa informação ao fenótipo observado no campo (HAMMER et al., 2005).

Assim, os mecanismos fisiológicos e moleculares devem ser estudados, considerando a utilização da variação genética natural existente para as características que possam levar ao melhoramento da produção em condições de estresse (COOPER et al., 2014). Segundo Cooper et al. (2014), as principais fases dos programas de melhoramento de milho, visando à tolerância ao estresse hídrico, são a escolha do germoplasma, a fenotipagem e a seleção.

2.3.1 Escolha do germoplasma

O melhoramento vegetal permite que a variabilidade genética entre cultivares ou espécies sexualmente compatíveis possa ser combinada por meio do acasalamento entre diferentes genótipos (ASHRAF, 2010). Assim, almeja-se combinar genótipos com alta produtividade e boa performance, para as principais características agronômicas, em diferentes condições ambientais, a fim de se garantir o sucesso de uma nova cultivar (FERREIRA et al., 2006).

Dentre as estratégias de adequação às mudanças climáticas, a obtenção de cultivares tolerantes ao estresse hídrico se mostrou mais eficiente que o uso da irrigação (CHALLINOR, 2014). Assim, a identificação e o estudo da variação natural, em bancos de germoplasma, podem contribuir para o melhoramento visando à obtenção de novas cultivares tolerantes ao estresse (BLUM et al., 2011).

Nesse sentido, linhagens de milho provenientes de diferentes origens devem apresentar mais variabilidade em relação às diversas características relacionadas à tolerância ao estresse hídrico (LI et al., 2015).

2.3.2 Seleção

Em programas de melhoramento de cereais tem havido sucesso na seleção de plantas tolerantes ao estresse hídrico, sendo a seleção direta sob condições de limitação hídrica a estratégia mais comumente utilizada pelos melhoristas (BERNIER et al., 2008).

Entretanto a seleção direta para produção de grãos sob condições de estresse hídrico, é dificultada pela grande complexidade desse caráter, o qual possui menor herdabilidade sob condições de estresse, controle poligênico, epistasia e interação genótipos por ambientes (CATTIVELLI et al., 2008). Em

condições de estresse, Campos et al. (2006) discutiram que a herdabilidade da produção de grãos é menor porque a variância ambiental nessas condições, geralmente, é muito alta.

Para melhorar a herdabilidade e a eficiência da seleção em condições de estresse, o campo experimental deve ser manejado com a maior homogeneidade possível, principalmente, em relação à disponibilidade de água, quando o objetivo é selecionar genótipos tolerantes ao estresse hídrico (BLUM, 2011). Entretanto chuvas podem ocorrer em momentos indesejáveis mesmo na estação seca, dificultando a seleção.

Uma alternativa é a avaliação de caracteres secundários relacionados à tolerância ao estresse e com maior herdabilidade (BETRAN et al., 2003).

No que se refere à avaliação em múltiplos ambientes, a seleção baseada na média dos ambientes é mais indicada quando se deseja selecionar genótipos com ampla adaptação (LAMBERT et al., 2006).

Em alguns trabalhos, tem sido relatada a existência de correlação positiva entre as características avaliadas em condições ideais de disponibilidade de água e em ambientes com estresse hídrico, tal como a produtividade de grãos (KISSOUDIS et al., 2016). Cooper et al. (2014) observaram que é possível obter ganhos genéticos em produtividade, avaliando-se tanto em ambientes favoráveis, os quais permitem a máxima expressão do caráter, quanto em condições de estresse hídrico, em que a produção potencial é reduzida pelo impacto do estresse hídrico em diferentes estádios de desenvolvimento da planta. No entanto os autores discutem que, quando da implantação de programas de melhoramento e a quantidade de recursos é limitada, deve-se optar por avaliar mais genótipos em menos ambientes, pois a imposição do estresse hídrico é suficiente para permitir a expressão da variabilidade genética entre os genótipos e, conseqüentemente, obter ganhos com a seleção (COOPER et al., 2014).

Parentoni et al. (2001) afirmam que um programa de melhoramento, voltado para a tolerância ao estresse hídrico, deve ter como objetivo a identificação dos genótipos mais produtivos em condições de estresse, mas que também respondam a melhoria do ambiente.

Nesse sentido, a classificação dos genótipos em grupos, sugerida por Fageria e Kluthcouski (1980), mostra-se uma metodologia bastante interessante. Para isso, são construídos gráficos bidimensionais em que o eixo X corresponde à média observada para a característica no ambiente sem estresse, e o eixo Y corresponde à média no ambiente de estresse. Os genótipos são, então, classificados de acordo com o quadrante em que se encontram, sendo: genótipos *tolerantes ao estresse e responsivos à melhoria do ambiente*, possuindo desempenho superior em ambas as condições ambientais; genótipos *tolerantes e não responsivos*, aqueles com desempenho satisfatório em condições de estresse, porém não respondem à melhoria do ambiente; genótipos *não tolerantes e não responsivos*, nos quais o desempenho é abaixo da média nas duas condições ambientais; e *genótipos não tolerantes e responsivos*, os quais possuem média baixa em condições de estresse mas aumentam sua média com a melhoria do ambiente.

Além dos gráficos bidimensionais de resposta dos genótipos, o uso dos índices de seleção é uma ferramenta eficiente na escolha de genótipos superiores por meio unificação das informações (LAMBERT et al., 2006). Vários índices de seleção são propostos para auxiliar a seleção de genótipos superiores em condições de estresse e em condições ideais de produção. No entanto Lambert et al. (2006) destacam o índice 4, proposto por Parentoni (2001), como o mais indicado para condições de estresse, uma vez que esse índice auxilia a seleção de genótipos em ambas as condições de cultivo.

Nunes, Ramalho e Abreu (2005), sugerem, ainda, a utilização do Índice Z, que permite a seleção simultânea para várias características. Para isso, as

características são primeiramente padronizadas e os valores obtidos são utilizados na construção de um diagrama denominado de “bola cheia”, quando a média do genótipo é superior à média da população para todas as características consideradas, e “bola murcha” quando o genótipo possui médias inferiores à da população.

O Índice Z foi eficiente na seleção de híbridos de milho (GOMES et al., 2006), progênies superiores de feijoeiro (MENDES; RAMALHO; ABREU, 2009) e arroz (RIBEIRO et al., 2016).

2.3.3 Fenotipagem

A fenotipagem é a avaliação e mensuração de características que refletem o funcionamento biológico do gene afetado pelo ambiente (SETTER, 2012). Uma fenotipagem eficiente, para condições de estresse hídrico, deve ser baseada em três requisitos importantes: escolha de características relacionadas à tolerância ao estresse, estudo do potencial de água no solo e na planta e a escolha da fase de desenvolvimento da cultura que melhor expressa a tolerância (DURÃES et al., 2004).

A identificação de caracteres que estejam diretamente relacionados à tolerância ao estresse é fundamental para o sucesso da fenotipagem (SETTER, 2012). A escolha das características a serem avaliadas deve levar em consideração a magnitude da herdabilidade, a variabilidade da população e a correlação da característica com a produtividade da cultura em condições de estresse hídrico (SETTER, 2012). Além disso, os caracteres fenotípicos devem ser de fácil mensuração e se manter estáveis ao longo do tempo (CAMPOS et al., 2004).

Na obtenção de genótipos superiores, a avaliação de diversas características permite a inferência de sua superioridade relativa com boa precisão (GUEDES et al., 2015). Dessa forma, o melhoramento genético estratégico, para

algumas características específicas de plântulas, tal como aérea foliar (SHAO et al., 2008) e a arquitetura de raiz, podem ser úteis ao desenvolvimento de híbridos mais tolerantes ao estresse hídrico (UGA et al., 2013).

Plântulas vigorosas permitem o rápido estabelecimento da cultura, possuem um sistema radicular bem desenvolvido e profundo, o que melhora a absorção de água e nutrientes sob condições de estresse hídrico (TRACHSEL et al., 2016). O vigor inicial das plântulas está diretamente relacionado ao rápido acúmulo de matéria seca na parte aérea (REBOLLEDO et al., 2015), sendo o desenvolvimento foliar um bom indicativo de vigor do crescimento inicial da plântula. No entanto uma grande área foliar específica sob condições de estresse hídrico pode resultar em representativa perda de água, resultando na baixa eficiência foliar (TRACHSEL et al., 2010).

Alguns caracteres das plantas que resultam na conservação da água podem ser benéficos em condições de estresse hídrico, tais como sistema radicular profundo, baixa condutância estomacal, reduzida taxa de crescimento foliar (LOPES et al., 2011).

Geralmente, o crescimento da parte aérea é mais afetado em comparação ao desenvolvimento do sistema radicular, o qual continua a se alongar, apesar das raízes se tornarem mais finas dependendo da intensidade e duração do estresse (SHARP et al., 2004). De acordo com Lisar et al. (2012), a razão entre a raiz e a parte aérea aumenta em condições de estresse hídrico para facilitar a absorção de água e manter a pressão osmótica. Porém a redução no crescimento da parte aérea sob condições de estresse é uma das importantes causas da baixa produtividade, em reflexo à redução da atividade fotossintética (LISAR et al., 2012).

As raízes são os primeiros órgãos a serem expostos em uma condição de estresse hídrico e, dessa forma, várias características fenotípicas do sistema radicular são consideradas importantes na manutenção do desenvolvimento da planta sob condições de estresse (JANIAK et al., 2015). Shao et al. (2008)

relataram que características como comprimento e número de raízes seminais são fatores importantes a serem considerados na tolerância ao estresse hídrico. Pesquisas sugerem que o aprofundamento das raízes é mais importante que a biomassa radicular em si (EDEMÉADES et al., 2013).

De acordo com Li et al. (2015), a diversidade na morfologia de raízes deve ser explorada para melhor eficiência na absorção de água e nutrientes. No entanto o principal entrave em estudos de morfologia radicular é a dificuldade de remoção da raiz e de realizar medições diretas em condições de campo (LI et al., 2015).

O estudo da associação entre os caracteres fenotípicos também pode auxiliar na tomada de decisão. Porém informações sobre a correlação entre características agronômicas das plantas adultas com característica de raízes em plântulas, ainda, são restritas.

Pestsova et al. (2015) observaram sobreposição de QTLs para características da raiz e produção de grãos nos cromossomos 3 e 8 de uma mesma população de milho, indicando possível relação entre esses caracteres.

Sob condições de baixa disponibilidade de fósforo no solo, foi observada correlação positiva entre o peso seco da parte aérea total da planta e o comprimento total das raízes seminais e o número de raízes seminais das plântulas de 157 linhagens recombinantes de milho (ZHU et al., 2006).

A associação entre o crescimento foliar e o desenvolvimento dos estilo-estigmas foi observada no trabalho de Welcker et al. (2007), no qual foram encontrados QTLs responsáveis pela alongação foliar e pelo desenvolvimento da inflorescência feminina, resultado esse que sustenta a hipótese de que esses caracteres possam estar geneticamente ligados.

Foram relatadas correlações positivas entre características de raiz de plântulas e plantas adultas, tais como o número e o peso das raízes seminais (PACE et al., 2014). Altas correlações positivas também foram encontradas, para o comprimento total de raiz ($r=0.894$) e superfície total de raiz ($r=0,891$), em

raízes avaliadas em dois ambientes contrastantes em relação à disponibilidade de água (LI et al., 2015). De acordo com os autores, a herdabilidade para as características de raiz foi, relativamente, menor quando comparada às demais características agronômicas. Além disso, houve influência significativa do ambiente na morfologia das raízes de plântulas de linhagens de milho (LI et al., 2015).

O peso seco total e o comprimento de raiz de 74 linhagens de milho, também foram significativamente correlacionados com as outras características de raiz (KUMAR et al., 2012), sendo essas características responsáveis por grande parte da variação fenotípica total. Assim, os autores concluíram que a seleção, baseada no comprimento total e o peso seco total de raízes, é capaz de melhorar as outras características de raízes.

2.4 Controle Genético da tolerância ao estresse hídrico em milho

Para o sucesso de um programa de melhoramento de milho, a correta escolha dos genitores a serem utilizados nos cruzamentos híbridos e a seleção das melhores combinações híbridas são etapas fundamentais (RAMALHO et al., 2004).

Para isso, cruzamentos dialélicos são utilizados com sucesso na obtenção de híbridos de milho. A análise de cruzamentos dialélicos permite obter estimativas de parâmetros genéticos úteis na seleção dos genitores para hibridação e auxilia no entendimento da natureza e magnitude dos efeitos genéticos envolvidos no controle genético dos caracteres (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012).

O termo dialelo refere-se aos casos em que n genitores são cruzados dois a dois (RAMALHO et al., 2012). Os tipos mais utilizados são o dialelo completo ou balanceado, o qual envolve todos os pares de combinações entre genitores; o

dialelo parcial, composto por dois grupos de genitores distintos; dialelo circulante, no qual os genitores são representados nas combinações híbridas em número menor de cruzamentos que nos demais tipos; e o dialelo desbalanceado, em que há a inexistência de alguma das combinações híbridas (RAMALHO et al., 2012).

Griffing (1956) propôs diferentes métodos de análise dialélica, em que são estimados os efeitos das capacidades geral e específica de combinação. Para dialelos completos, os efeitos das capacidades de combinação podem ser obtidos por quatro modelos experimentais. No modelo 1, são avaliadas todas as n^2 combinações híbridas F1's, os genitores e os recíprocos; no modelo 2, são incluídas $n(n+1)/2$ combinações, sendo avaliados apenas os genitores e os híbridos F1's; no modelo 3, são incluídas $n(n-1)$ combinações, no qual são avaliados apenas os híbridos F1's e recíprocos; e no método 4 são incluídas $n(n-1)/2$ combinações e são avaliados apenas os híbridos F1's.

A capacidade geral de combinação (CGC) se refere ao comportamento médio de um parental em relação a todos os cruzamentos de que ele participa. Dessa maneira, um parental será considerado superior ou inferior aos demais, de acordo com suas estimativas de CGC, sendo elas positivas ou negativas, respectivamente. Em caso de estimativas próximas de zero, pode-se inferir que o parental não difere seu comportamento da média geral dos outros cruzamentos (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012). As estimativas dos efeitos da CGC proporcionam informações a respeito da concentração de genes predominantemente aditivos em seus efeitos e têm sido úteis na recomendação de genitores superiores (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012).

Já a capacidade específica de combinação (CEC) se refere ao desempenho de genitores em combinações híbridas. Assim, baixas estimativas indicam que os genótipos envolvidos no cruzamento não são complementares (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012). A CEC está associada aos efeitos basicamente não-aditivos, como dominância e epistasia (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO

2012; CRUZ; VENCOVSKY, 1989). A melhor combinação híbrida, então, é aquela que apresenta maior estimativa de CEC e que seja resultante de um cruzamento em que pelo menos um dos parentais possua elevada CGC (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012).

Assim, o estudo do controle genético, por meio da análise da capacidade de combinação em genótipos de milho é fundamental para estabelecer estratégias de melhoramento visando à tolerância ao estresse hídrico. Makumbi et al. (2011), ao avaliarem linhagens de milho em diferentes condições ambientais, encontraram efeitos positivos para CGC para produção de grãos sob condições de estresse hídrico. Os efeitos gênicos aditivos foram mais importantes que os não aditivos em condições de estresse hídrico. Os autores concluíram que as linhagens desenvolvidas por seleção, para a tolerância ao estresse, possuíam boa combinação com as linhagens elites, responsáveis pela produção dos melhores híbridos em condições ideais de cultivo.

Diversos trabalhos têm sido realizados visando entender a capacidade de combinação para qualidade fisiológica de sementes. Gomes et al., (2000b) avaliaram seis linhagens de milho tropical e 36 genótipos (híbridos e recíprocos) compostos por um dialelo completo. Os autores concluíram que os efeitos de CGC e CEC foram significativos, para todos os testes realizados e que os efeitos não aditivos foram de maior importância. Além disso, houve efeito recíproco significativo, para todos os testes, exceto para o índice de velocidade de emergência (IVE).

O efeito genético da seleção precoce de genótipos de milho, por meio da avaliação da qualidade de sementes, foi obtido por Morteale et al. (2011). Para isso, nove linhagens, previamente selecionadas por seus CGCs e 72 híbridos simples, provenientes do cruzamento dessas linhagens, foram avaliadas para qualidade fisiológica de sementes. Foram encontrados valores significativos, para CGC, CEC e efeito recíproco, para maioria das características avaliadas, exceto IVE, no

qual apenas CGC foi significativo. Os componentes quadráticos devido aos efeitos de CEC foram mais importantes para a maioria das características avaliadas. Além disso, os efeitos dos recíprocos foram de maior magnitude quando comparados com a CEC, indicando a presença do efeito materno.

A maior importância dos efeitos não aditivos na qualidade fisiológica de sementes também foi relatada por Cabral et al. (2013), ao avaliarem sementes de dez linhagens de milho pipoca em cruzamentos, por meio do dialelo completo, com recíproco.

Embora as estimativas dos efeitos da CEC sejam úteis na escolha das melhores combinações híbridas, a CEC não especifica qual dos genitores deve ser utilizado como parental feminino ou masculino no cruzamento.

Quando a herança de um caráter é controlada por genes nucleares, não se observam diferenças significativas entre o híbrido e seu recíproco. No entanto, se houver efeito citoplasmático na herança do caráter, os descendentes terão o fenótipo do genitor feminino, justificando, assim, a avaliação do recíproco (RAMALHO et al., 2012). Este tipo de herança pode ser explicado por dois mecanismos: efeito materno, em que o fenótipo das progênies é determinado por elemento citoplasmático materno em decorrência de genes nucleares; e herança extra cromossômica, em que a herança é em razão de genes localizados no citoplasma, principalmente, em mitocôndrias e cloroplastos (RAMALHO et al., 2012).

O efeito recíproco, para qualidade fisiológica de sementes e desempenho de plântulas, vem sendo citado por alguns autores. Gomes et al. (2000b) relataram efeito recíproco para comprimento de parte aérea e radícula em plântulas de milho híbrido; Hoecker et al. (2006) observaram efeito recíproco para densidade de raízes laterais em híbridos de milho e Mortele et al. (2011), Cabral et al. (2013) e Oliveira et al. (2015) observaram o efeito recíproco para a qualidade fisiológica de sementes.

O estudo da diversidade genética das linhagens e populações gera importantes informações nos programas de desenvolvimento de híbridos. Um dos objetivos do melhoramento de milho é a identificação de linhagens que possam participar de cruzamentos, para a produção de híbridos com elevada produtividade (MAKUMBI et al., 2011). Dessa forma, além da análise dialélica, o estudo da heterose pode fornecer informações importantes, na correta escolha dos genótipos, em um programa de melhoramento.

Em diversos trabalhos, tem sido demonstrada a importância da heterose em plântulas de milho e, apesar de a maioria deles estar relacionados aos estádios de desenvolvimento, após a germinação, os mecanismos regulatórios da heterose já se manifestam logo após a fertilização do óvulo (MEYER; POSPISIL; SCHOLTEN, 2007).

A expressão da heterose, na qualidade fisiológica de sementes de milho híbrido, foi demonstrada no trabalho de Gomes et al. (2000a), no qual a maior magnitude dos valores de heterose, para as características de comprimento de parte aérea e radícula, evidenciaram a importância do vigor híbrido na fase inicial do desenvolvimento da plântula.

Em seis combinações híbridas analisadas por Hoecker et al. (2006), maior grau de heterose foi observado para a característica de densidade de raízes laterais. Raízes seminais também demonstraram boa heterose, com cerca de 18% a mais quando comparada com os seus genitores. Esse resultado, de acordo com os autores, pode explicar a superioridade das plântulas de milho híbrido em relação às linhagens, pois as raízes seminais são responsáveis pela absorção de água e nutrientes nas primeiras semanas do desenvolvimento da plântula. Além disso, o comprimento da raiz primária revela maior heterose que a largura em si. Ainda, de acordo com os autores, o alongamento da raiz é a maneira mais efetiva para aumentar a superfície de absorção das raízes.

REFERÊNCIAS

ABREU, V. M. **Seleção indireta para tolerância a seca em milho por meio de características agronômicas e de sementes**. 2013. 95 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

ABREU, V. M. et al. Physiological performance and expression of isozymes in maize seeds subjected to water stress. **Journal of Seed Science**, Londrina, v. 36, n. 1, p. 040-047, 2014.

ASHRAF, M. Inducing drought tolerance in plants: recent advances. **Biotechnology Advances**, New York, v. 28, n. 1, p. 169-183, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE SEMENTES E MUDAS. **Anuário 2014**. Londrina, 2014. 34 p.

ÁVILA, M. R.; BRACCINI, A. L.; SCAPIM, C. A. Teste de comprimento de plântulas sob estresse hídrico na avaliação do potencial fisiológico das sementes de milho. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 29, n. 2, p. 117-124, 2007.

BERNIER, J. et al. Breeding upland rice for drought resistance. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 88, n. 6, p. 927-939, 2008.

BETRAN, F. J. et al. Genetic analysis of inbred and hybrids grain yield under stress and non-stress environments in tropical maize. **Crop Science**, Madison, v. 43, p. 807-817, 2003.

BLUM, A. **Plant Breeding for Water-Limited Environments**. Springer, New York, NY, 2011. 255 p.

CABRAL, P. D. S. et al. Genetic effects on seed quality in diallel crosses of popcorn. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 37, n. 6, p. 502-511, 2013.

CÂMARA, T. M. M. et al. Parâmetros genéticos de caracteres relacionados a tolerância a deficiência hídrica em milho tropical. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 4, p. 595-603, 2007.

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

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

CATTIVELLI, L. et al. Drought tolerance improvement in crop plants: an integrated view from breeding to genomics. **Field Crops Research**, Amsterdam v. 105, n. 1, p. 1-14, 2008.

CHALLINOR, A. J. et al. A meta-analysis of crop yield under climate change and adaptation. **Nature Climate Change**, London v. 4, p. 287-291, 2014.

CHAVES, M. M. et al. How plants Cope with Water Stress in the Field. Photosynthesis and Growth. **Annals of Botany**, London, v. 89, p. 907-916, 2002.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de safra brasileira**: grãos, décimo primeiro levantamento, agosto/2016. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_08_09_12_08_19_boletim_graos_agosto_2016.pdf>. Acesso em: 05 ago. 2016.

COOPER, M. et al. Breeding drought-tolerant maize hybrids for the US corn-belt: discovery to product. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, p. eru064, 2014.

COSTA, E. F. N. et al. Herança da senescência retardada em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 2, p. 207-213, fev. 2008.

CRUZ, J. C. et al. **Quatrocentas e sessenta e sete cultivares de milho estão disponíveis no mercado de sementes do Brasil para a safra 2015/16**. Sete Lagoas: Embrapa-CNPMS. 2015. 28 p. (Documentos, 184).

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 4. ed. Viçosa, MG: UFV, 2012. v. 1, 514 p.

CRUZ, C. D.; VENCOVSKY, R. Comparação de alguns métodos de análise dialélica. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v. 12, n. 2, p. 425-438, 1989.

DURÃES, F. O. M. et al. Caracterização fenotípica de linhagens de milho quanto ao rendimento e à eficiência fotossintética. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 4, n. 3, p. 355-361, 2005.

DURÃES, F. O. M. et al. **Fenotipagem associada a tolerância a seca em milho para uso em melhoramento, estudos genômicos e seleção assistida por marcadores**. Sete Lagoas: Embrapa-CNPMS. 2004. 18 p. (Circular Técnica, 39).

EDMEADES, G. O. **Progress in achieving and delivering drought tolerance in maize - An Update**, ISAAA: Ithaca, NY. 2013. 44 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - MILHO E SORGO. Disponível em:
<https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdeproducao6_1galceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-2&p_p_col_count=1&p_r_p_76293187_sistemaProducaoId=7905&p_r_p_-996514994_topicoId=8658>.
Acesso em: 14 jul. 2016.

ENTRINGER, G. C. et al. Genetic control of leaf curl in maize. **Genetics and Molecular Research**, Ribeirão Preto, v. 13, p. 1672-1678, 2014.

FAGERIA, N. K.; KLUTHCOUSKI, J. **Metodologia para avaliação das cultivares de arroz e feijão para condições adversas de solo**. Brasília: EMBRAPA-CNPAP, 1980. 22p. (Circular Técnica, 8).

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. Ecofisiologia e fenologia. In: _____. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000. p. 21-54.

FERREIRA, D. F. et al. Statistical models in agriculture: biometrical methods for evaluating phenotypic stability in plant breeding. **Cerne**, Lavras, v. 12, n. 4, p. 373-388, 2015.

GOMES, M. S. et al. Alternativas para seleção de híbridos de milho envolvendo vários caracteres visando à produção de silagem. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 5, n. 3, p. 406-421, 2006.

GOMES, M. S. et al. Efeito da heterose na qualidade fisiológica de sementes de milho. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 22, n. 1, p. 7-17, 2000a.

GOMES, M. S. et al. Estimativas da capacidade de combinação de linhagens de milho tropical para qualidade fisiológica de sementes. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 24, p. 41-49, 2000b.

GRIFFING, B. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. **Australian Journal of Biological Sciences**, Melbourne, v. 9, n. 4, p. 463-493, 1956.

GUEDES, F. L. et al. The behavior of maize hybrids generated from contrasting progenies regarding the use of nitrogen. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 37, n. 1, p. 45-50, 2015.

HAMMER, G. L. et al. Trait physiology and crop modelling as a framework to link phenotypic complexity to underlying genetic systems. **Australian Journal of Agricultural Research**, Victoria, v. 56, p. 947-960, 2005.

HOECKER, N. et al. Manifestation of heterosis during early maize (*Zea mays* L.) root development. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 112, n. 3, p. 421-429, Feb. 2006.

JANIAK, A.; KWAŚNIEWSKI, M.; SZAREJKO, I. Gene expression regulation in roots under drought. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 67, n. 4, p. 1003-1014, 2016.

KISSOUDIS, C. et al. Future-proof crops: challenges and strategies for climate resilience improvement. **Current Opinion in Plant Biology**, [S.l.], v. 30, p. 47-56, 2016.

KRANNER, I. et al. What is stress? Concepts, definitions and applications in seed science. **New Phytologist**, Cambridge, v. 188, p. 655-673, 2010.

KUMAR, B. et al. Genotypic variation for root architecture traits in seedlings of maize (*Zea mays* L.) inbred lines. **Plant Breeding**, Berlin, v. 131, n. 4, p. 465-478, 2012.

LAMBERT, S. et al. Potato improvement for tropical conditions: II. Selection indices and efficiency of indirect selection. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, [s. l.] v. 6, p. 185-193, 2006.

LI, R. et al. Genetic variation for maize root architecture in response to drought stress at the seedling stage. **Breeding Science**, Tokyo, v. 65, n. 4, p. 298, 2015.

LISAR, S. Y. S.; MOTAFAKKERAZAD, R.; HOSSAIN, M. M. Water stress in plants: causes, effects and responses. In: RAHMAN, I. MD. M.; HASEGAWA, H. (Ed.) **Water stress**, Intech, 2012. p. 1-14.

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

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba: FEALQ, 2005. 495 p.

MARINO, R. et al. Addressing drought tolerance in maize by transcriptional profiling and mapping. **Molecular Genetics and Genomics**, Berlin, v. 281, p. 163-179, 2009.

MEEKS, M. et al. Measuring maize seedling drought response in search of tolerant germplasm. **Agronomy**, Basel, v. 3, p. 135-147, 2013.

MENDES, F. F.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Índice de seleção para escolha de populações segregantes de feijoeiro-comum. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 10, p. 1312-1318, 2009.

MENEZES, C. B. et al. Adaptabilidade e estabilidade de linhagens de sorgo em ambientes com e sem restrição hídrica. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 14, n. 1, p. 101-115, 2015.

MESSMER, R. et al. Drought stress and tropical maize: QTLs for leaf greenness, plant senescence, and root capacitance. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 124, p. 93-103, 2011.

MEYER, S.; POSPISIL, H.; SCHOLTEN, S. Heterosis associated gene expression in maize embryos 6 days after fertilization exhibits additive, dominant and overdominant pattern. **Plant molecular biology**, Dordrecht, v. 63, n. 3, p. 381-391, 2007.

MOTERLE, L. M. et al. Influência do estresse hídrico sobre o desempenho fisiológico de sementes de híbridos simples de milho-pipoca. **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 6, p. 1810-1817, nov./dez. 2008.

MOTERLE, L. M. et al. Combining ability of tropical maize lines for seed quality and agronomic traits. **Genetics and Molecular Research**, Ribeirão Preto, v. 10, n. 3, p. 2268-2278, 2011.

NUNES, J. A. R.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Graphical method in studies of adaptability and stability of cultivars. **Annual Report of Bean Improvement Cooperative**, Fort Collins, v. 48, p. 182, 2005.

OLIVEIRA, G. E. et al. Relationship among physiological quality, heterosis, and amylase gene expression in maize seeds. **Genetics and Molecular Research**, Ribeirão Preto, v. 14, n. 3, p. 8623-8633, 2015.

PACE, J. et al. Analysis of Maize (*Zea mays* L.) Seedling Roots with the High-Throughput Image Analysis Tool ARIA (Automatic Root Image Analysis). **Plos One**, San Francisco, v. 9, n. 9, e108255, 2014.

PARENTONI S. N. et al. Melhoramento para tolerância ao alumínio como fator de adaptação a solos ácidos. In: NASS, L. L. et al. **Recursos genéticos e melhoramento**. Rondonópolis: Fundação MT, 2001. p. 783-852.

PESTSOVA, E. et al. QTL mapping of seedling root traits associated with nitrogen and water use efficiency in maize. **Euphytica**, Wageningen, v. 209, p. 585-602, 2016.

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

RAO, D. E.; CHAITANYA, K.V. Photosynthesis and antioxidative defense mechanisms in deciphering drought stress tolerance of crop plants. **Biologia Plantarum**, Visakhapatnam, v. 60, n. 2, p. 201-218, 2016.

REBOLLEDO, M. C. et al. Phenotypic and genetic dissection of component traits for early vigor in rice using plant growth modelling, sugar content analyses and association mapping. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 66, n. 18, p. 5555-5566, 2015.

RIBEIRO, D. C. et al. Selection for multiple traits in upland rice progenies using the z index. **International Journal of Current Research**, [S.l.], v. 8, p. 25924-25928, 2016.

RICCARDI, F. et al. Protein changes in response to progressive water deficit in maize. Quantitative variation and polypeptide identification. **Plant Physiology**, Lancaster, v. 117, p. 1253-1263, 1998.

ROY, S. J.; TUCKER, E. T.; TESTER, M. Genetic analysis of abiotic stress tolerance in crops. **Current Opinion in Plant Biology**, Glen Osmond, v. 14, p. 232-239, 2011.

SETTER, T. L. Analysis of constituents for phenotyping drought tolerance in crop improvement. **Frontiers in Physiology**. Lausanne, v. 3, p. 1-12, 2012.

SHANKER, A. K. et al. Drought stress responses in crops. **Functional and Integrative Genomics**, Berlin, v.14, p. 11-22, 2014.

SHAO, H. et al. Water-deficit stress induced anatomical changes in higher plants. **Comptes Rendus Biologies**, Paris, v. 331, p. 215-225, 2008.

SHARP, R. E. et al. Root growth maintenance during water deficits: physiology to functional genomics. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 55, n. 407, p. 2343-2351, 2004.

SILVA, P. R. F. et al. **Arranjo de plantas e sua importância na definição da produtividade em milho**. Porto Alegre: Evangraf, 2006. 63 p.

TRACHSEL, S. et al. Identification of QTL for Early Vigor and Stay-Green Conferring Tolerance to Drought in Two Connected Advanced Backcross Populations in Tropical Maize (*Zea mays* L.). **Plos One**, San Francisco, v. 11, p. 1-22, 2016.

TRACHSEL, S. et al. QTLs for early vigor of tropical maize. **Molecular Breeding**, Dordrecht, v. 25, n. 1, p. 91-103, 2010.

UGA, Y. et al. Control of root system architecture by DEEPER ROOTING 1 increases rice yield under drought conditions. **Nature Genetics**, New York, v. 45, n. 9, p. 1097-1102, 2013.

VEIT, B. et al. Maize floral development: new genes and old mutants. **The Plant Cell**, Rockville, v. 5, n. 10, p. 1205–1215, 1993.

VERSLUES, P. V.; JUENGER, T. E. Drought, metabolites, and Arabidopsis natural variation: a promising combination for understanding adaptation to water-limited environments. **Current Opinion in Plant Biology**, Glen Osmond, v. 14, 240-245, 2011.

VIEIRA, F. C. F. et al. Physiological and biochemical aspects of soybean cultivars submitted to water deficit induced by PEG 6000. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 29, p. 542-551, 2013.

WELCKER, C. et al. Are source and sink strengths genetically linked in maize plants subjected to water deficit? A QTL study of the responses of leaf growth and of anthesis-silking interval to water deficit. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 58, n. 2, p. 339-349, 2007.

YANG, S. et al. Narrowing Down the Targets: Towards Successful Genetic Engineering of Drought-Tolerant Crops. **Molecular Plant**, Kingston, v. 3, n. 2, p. 469-490, 2010.

ZHANG, X. et al. Genome-wide association studies of drought-related metabolic changes in maize using an enlarged SNP panel. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 129, p. 1449-1463, 2016.

ZHU, J. et al. Detection of quantitative trait loci for seminal root traits in maize (*Zea mays* L.) seedlings grown under differential phosphorus levels. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 113, n. 1, p. 1-10, 2006.

CAPÍTULO 2

CAPACIDADE DE COMBINAÇÃO E HETEROSE EM SEMENTES DE MILHO SUBMETIDAS AO ESTRESSE HÍDRICO NAS FASES DE GERMINAÇÃO E EMERGÊNCIA DE PLÂNTULAS

RESUMO

Embora muito se estude a respeito dos efeitos do estresse hídrico em plantas, poucos trabalhos têm sido realizados para avaliar o controle genético de caracteres associados à semente. Assim, o objetivo neste trabalho foi avaliar a heterose e a capacidade combinatória de linhagens de milho submetidas ao estresse hídrico nas fases de germinação e emergência de plântulas. Para isso, foi instalado um campo de produção de sementes híbridas, incluindo os recíprocos, utilizando-se o sistema de dialelo parcial, mais as oito linhagens genitoras previamente classificadas quanto à tolerância ao estresse hídrico (L91, L63, L37, L32 – grupo 1 (tolerantes); L75, L31, L57 e L24 – grupo 2 (não tolerantes)). A avaliação inicial da qualidade das sementes produzidas foi realizada por meio do teste de envelhecimento acelerado. As sementes foram germinadas em bandejas contendo substrato areia, em dois ambientes. O primeiro, denominado de ambiente sem estresse, a umidade do substrato foi ajustada para 70% da capacidade de retenção de água no solo e, no segundo, denominado ambiente com estresse, a capacidade de retenção de água foi de 10%. Foram avaliados a emergência de plântulas, o índice de velocidade de emergência (IVE), o comprimento de parte aérea (CPA), o comprimento radicular (CR), o número de raízes seminais (NR), o peso seco da parte aérea (PSF), o peso seco de raízes (PSR) e a razão entre CR e CPA. Foram analisados a heterose, os efeitos da capacidade geral (CGC) e específica (CEC) de combinação e os efeitos recíprocos. Foi observada a expressão da heterose, para a tolerância ao estresse hídrico em sementes de milho, principalmente, para as características de raiz. Em relação ao controle genético para a tolerância ao estresse hídrico em sementes, os genes de efeito não aditivo são mais importantes. Maiores estimativas de CGC são observadas para as linhagens L91, L75 e L63, e maiores estimativas de CEC para os híbridos H91X75, H91x24, H91x31 e H63x31. Há efeito recíproco, para qualidade fisiológica de sementes submetidas ao estresse hídrico, o que evidencia a importância da escolha dos genitores femininos para compor os cruzamentos.

Palavras-chave: Controle genético. Vigor de Sementes. Heterose. Efeito recíproco.

ABSTRACT

Although much is known about water stress effects on the plant itself, few studies have been focused on the genetic control of traits associated with seeds. This research aims to evaluate heterosis and combining ability of maize genotypes submitted to water stress on germination and seedling emergence phases. A field was installed to obtain hybrid seeds, including reciprocal hybrid, using partial diallel design, further eight progenitors inbred line (L91, L63, L37, L32 – group 1 (tolerant); L75, L31, L57 e L24 – group 2 (non-tolerant)), previously characterized in relation to water stress. The initial seed quality evaluation was accessed by accelerated aging test. All seed genotypes were germinated in trays with sand, in two environments. The first, called “without stress environment”, had its field capacity adjusted to 70%, and the second, called “stress environment”, with field capacity of 10%. It was assessed the seedling emergence, emergence speed index (IVE), shoot length (CPA), root length (CR), number of seminal roots (NR), shoot dry weight (PSF), roots dry weight (PSR) and ratio between CR and CPA. The heterosis effect, the general combining ability (GCA), the specific combining ability (SCA) and the reciprocal effects were estimated. It was observed heterosis expression for water stress tolerance, mainly for root traits. In the genetic control of water stress tolerance, non-additive genes are more important. Higher estimates of GCA are observed in L91, L75 and L63 lines, and higher estimates of SCA in H91x75, H91x24, H91x31 and H63x31 hybrids. There are reciprocal effects for physiological seed quality, which highlights the importance of the correct choice for female genitors to crosses.

Keywords: Genetic control. Seed vigor. Heterosis. Reciprocal effects.

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de cultivares tolerantes ao estresse hídrico é fundamental para o desenvolvimento da produção agrícola nacional. Na cultura do milho, a redução da produção pela a deficiência hídrica vem sendo observada, principalmente, para a segunda safra, a exemplo do que ocorreu na safra 2015/2016 (COMPANHIA NACIONAL DE ABATECIMENTO - CONAB, 2016).

Embora seja observado um aumento na área plantada de 10,3%, o estresse hídrico, observado entre os meses de março a junho de 2016, foi o principal responsável pela redução de 24,7% na produção de milho da segunda safra de 2015/16. Na região Centro-Oeste, a produtividade observada de 3857 kg/ha foi 36,3% inferior à safra de 2014/15. O mesmo foi observado para as regiões Nordeste e Sudeste do país, nas quais houve reduções na produtividade de 54,8% e 45%, respectivamente (CONAB, 2016).

Diante disso, torna-se evidente a utilização de genótipos tolerantes ao estresse hídrico, como ferramenta eficiente, para o aumento da produtividade e redução dos riscos de produção em áreas sujeitas ao estresse hídrico, além da introdução de novas áreas agricultáveis.

A tolerância ao estresse hídrico constitui característica tipicamente quantitativa e é altamente influenciada pela interação genótipos por ambientes (ROY; TUCKER; TESTER, 2011). Além disso, a tolerância a condições de estresse hídrico é variável, dependendo do estágio de desenvolvimento da cultura, sendo que as plantas estão sujeitas ao estresse desde a germinação até a fase de maturação de grãos.

Embora muito se assinale a respeito dos efeitos do estresse hídrico em plantas de milho, poucos trabalhos têm sido realizados para estudar o controle genético de caracteres associados à semente. De acordo com Kranner et al. (2010),

as sementes, em geral, são altamente vulneráveis à incidência do estresse durante o seu desenvolvimento ou na germinação, resultando na perda do vigor ou viabilidade, que, conseqüentemente, faz desse órgão um modelo atrativo para estudo do estresse.

Os níveis de respostas, em relação a estas variáveis, dependem tanto do grau de estresse quanto da tolerância da espécie (KRANNER et al., 2010). Nesse sentido, a avaliação fenotípica da qualidade fisiológica em sementes e o desempenho de plântulas de milho são consideradas excelentes ferramentas, que exigem menor tempo e espaço, são, relativamente, de fácil e rápida avaliação e podem ser repetidas, várias vezes ao longo do ano, podendo auxiliar os programas de melhoramento (MEEKS et al., 2013; PACE et al., 2014).

Dentre as estratégias do melhoramento genético visando à obtenção de novas cultivares adaptadas a ambientes de estresse, o estudo do controle genético, por meio da análise da capacidade combinatória, é uma das mais eficientes. A análise de cruzamentos dialélicos permite obter estimativas de parâmetros genéticos úteis na seleção dos genitores para hibridação e no entendimento da natureza e magnitude dos efeitos genéticos envolvidos no controle genético dos caracteres (CRUZ; REGAZZI, CARNEIRO, 2012).

Assim, os objetivos neste trabalho foram avaliar a heterose e a capacidade combinatória de linhagens de milho, submetidas ao estresse hídrico nas fases de germinação e emergência de plântulas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos no Laboratório Central de Sementes e na área experimental do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras (UFLA), em Lavras-MG.

Inicialmente, para a escolha dos genótipos discrepantes quanto à tolerância ao estresse hídrico, durante a germinação, foram utilizadas sementes de 26 linhagens do programa de melhoramento de milho da empresa Geneseeds Recursos Genéticos Ltda., as quais foram colocadas para germinar, em caixas tipo gerbox, contendo substrato composto com terra e areia, na proporção 2:1, acondicionado em câmaras do tipo BOD, à temperatura de 25°C. Como forma de imposição do estresse hídrico, a capacidade de retenção de água do substrato escolhida por meio de pré-teste (dados não apresentados), foi de 10% e a reposição de água foi feita, diariamente, com base no peso inicial de cada gerbox.

Foram avaliados aos sete dias a emergência final, o comprimento da parte aérea, o comprimento total das raízes e o número de raízes secundárias das plântulas de milho (dados não apresentados). Após a avaliação inicial, foram escolhidas oito linhagens contrastantes em relação à tolerância ao estresse hídrico em plântulas, classificadas em dois grupos, sendo as linhagens L91, L63, L37 e L32 consideradas tolerantes e as linhagens L75, L31, L57 e L24, consideradas não tolerantes ao estresse hídrico durante a germinação e emergência de plântulas.

2.1 Obtenção dos cruzamentos dialélicos

Os cruzamentos foram realizados em esquema de dialelo parcial entre as quatro linhagens tolerantes (grupo 1) e as quatro linhagens não tolerantes (grupo 2) ao estresse hídrico (QUADRO 1).

Quadro 1 - Descrição das linhagens de milho utilizadas no dialelo parcial.

Linhagens	Ciclo	Grão	Porte
L91	Normal	Dente / Alaranjado	Alto
L63	Precoce	Duro / Avermelhado	Médio
L37	Precoce	Duro / Amarelado	Médio
L32	Normal	Semiduro / Avermelhado	Baixo
L75	Super precoce	Duro / Avermelhado	Médio
L31	Precoce	Duro / Avermelhado	Baixo
L57	Precoce	Dente / Amarelo	Médio
L24	Super precoce	Dente / Amarelado	Médio

A semeadura de cada linhagem foi realizada, em parcelas de 10 linhas de 6m, espaçadas 0,80m entre linhas e 0,20m entre plantas. A semeadura foi realizada, ao longo de dez dias para garantir coincidência do florescimento entre os grupos de linhagens. Todos os tratamentos culturais e fitossanitários foram realizados de acordo com os recomendados para a cultura.

Durante o florescimento, as espigas foram protegidas com sacos plásticos, antes da emissão dos estilo-estigmas. Quando houve receptividade dos estilo-estigmas, os pendões das plantas doadoras de pólen foram cobertos com saco de papel, para evitar a contaminação genética e, no dia seguinte, foi realizado o cruzamento, sendo as linhagens de cada grupo utilizadas ora como parental feminino, ora como parental masculino. Assim, foram obtidos 16 híbridos simples e 16 recíprocos.

Os cruzamentos foram realizados, na área experimental do Departamento de Agricultura da UFLA, no ano agrícola de 2013/2014. Simultaneamente, foi instalado um experimento para multiplicação das sementes das oito linhagens para que, assim, fossem produzidas nas mesmas condições ambientais das sementes híbridas. As sementes das linhagens foram obtidas por meio de autofecundações controladas.

As espigas provenientes das autofecundações das linhagens e dos cruzamentos foram colhidas, manualmente, secadas em secador de espigas a 35°C até atingirem o teor de água de 13% e, posteriormente, debulhadas manualmente. As sementes foram separadas quanto ao tamanho em peneiras de crivos circulares e foram utilizadas as sementes que ficaram retidas nas peneiras 19/64 e 20/64. As sementes foram tratadas com o fungicida VITAVAX-THIRAM 200, na dosagem de 300 ml por 100 kg de sementes e armazenadas em câmara fria a 10°C até o momento das análises fisiológicas.

2.2 Avaliação inicial do perfil da qualidade fisiológica de sementes por meio do teste de envelhecimento acelerado

Para a avaliação inicial da qualidade fisiológica de sementes das 8 linhagens, dos 16 híbridos e de seus recíprocos, foi realizado o teste de envelhecimento acelerado por 96 horas à temperatura de 42°C. As sementes foram distribuídas, de modo uniforme, sobre uma tela suspensa, no interior da caixa do tipo "gerbox", contendo 40 ml de água. Em seguida, foi efetuado o teste de germinação, à temperatura de 25°C. A avaliação foi realizada, aos sete dias após a instalação do teste, contabilizando-se o percentual de plântulas normais.

As médias de vigor das sementes dos genótipos foram agrupadas utilizando metodologia proposta por Scott e Knott (1974). Para isso, utilizou-se o programa estatístico R (R Core Team, 2015).

2.3 Avaliação da qualidade fisiológica de sementes de milho submetidas ao estresse hídrico

As sementes das oito linhagens, dos 16 híbridos simples e de seus recíprocos foram avaliadas em duas condições quanto à disponibilidade de água.

Na primeira condição, denominada de ambiente sem estresse, a umidade do substrato foi ajustada para 70% da capacidade de retenção de água e, na segunda condição, ambiente com estresse, a umidade foi ajustada para capacidade de retenção de água de 10%. Em cada condição, 25 sementes de cada genótipo foram colocadas para germinar em câmara de crescimento a 25°C, em bandejas contendo substrato areia. Em ambas as condições, a reposição da água foi feita, diariamente, com base no peso inicial de cada bandeja. Foi adotado o delineamento inteiramente casualizados (DIC) com quatro repetições. Após sete dias, as plântulas foram retiradas das bandejas e lavadas em água corrente.

Foram avaliadas as seguintes características:

- a) Índice de velocidade de emergência (IVE): número de plântulas emergidas por dia, realizado em conjunto com o teste de emergência, determinada pela fórmula proposta por Maguire (1962).
- b) Emergência de plântulas (EMERG): porcentagem de plântulas emergidas ao sétimo dia após a semeadura.
- c) Comprimento de parte aérea (CPA): comprimento médio da parte aérea das plântulas. Os resultados foram expressos em centímetros (cm) por plântula.
- d) Comprimento radicular (CR): comprimento médio da raiz principal das plântulas. Os resultados foram expressos em centímetros (cm) por plântula.
- e) Número de raízes seminais (NR): número total de raízes seminais das plântulas. Os resultados foram expressos em número médio de raízes seminais por plântula.
- f) Peso seco de parte aérea (PSF): média do peso seco da parte aérea das plântulas. Os resultados foram expressos em miligramas por plântula.

g) Peso seco de raiz (PSR): média do peso seco das raízes totais das plântulas emergidas. Os resultados foram expressos em miligramas por plântula.

Foi avaliada, ainda, a razão entre as características de CR e CPA para os ambientes com e sem estresse, e a diferença da razão entre os ambientes.

As médias de vigor das sementes dos genótipos foram agrupadas por ambiente e entre os ambientes, utilizando a metodologia proposta por Scott e Knott (1974), sendo as médias das linhagens e dos híbridos analisadas separadamente. Para isso, utilizou-se o programa estatístico R (R Core Team, 2015).

2.4 Heterose

Para cada característica avaliada, foi estimada a heterose específica (h), utilizando o seguinte estimador (HALLAUER; CARENA; MIRANDA FILHO, 2010):

$$h = F_1 - \frac{(L_1 + L_2)}{2}$$

em que:

F_1 = média do híbrido simples;

L_1 = média do genitor masculino, do respectivo híbrido simples;

L_2 = média do genitor feminino, do respectivo híbrido simples.

A heterose em porcentagem em relação à média dos pais também foi estimada por meio do estimador (FALCONER; MACKAY, 1996):

$$h(\%) = \left(\frac{h}{\frac{L_1 + L_2}{2}} \right) \times 100$$

Posteriormente, foi calculada a média da heterose em relação aos dois ambientes.

2.5 Análise dialélica via modelos mistos

Por se tratar de um dialelo parcial, o estudo das capacidades de combinação e do efeito recíproco foi realizado, separadamente, uma vez que não existe um único modelo que englobe pais, híbridos F1 e recíprocos para dialelo parcial. Utilizando-se as médias de cada ambiente, procedeu-se à análise dialélica conjunta, utilizando o método II e o método III, propostos por Griffing (1956). Para estimar a importância relativa dos efeitos genéticos aditivos e não aditivos na expressão das características, as capacidades geral e específica de combinação foram preditas utilizando o método II de Griffing, que inclui os dados das linhagens genitoras e dos híbridos simples entre elas, de acordo com o modelo misto (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012):

$$y_{ijk} = \mu + a_k + g_i + g_j + s_{ij} + (ga)_{ik} + (ga)_{jk} + (sa)_{ijk} + e_{ijk}$$

em que:

y_{ijk} é o valor observado na parcela que recebeu o cruzamento entre o i -ésimo genitor do grupo 1 e o j -ésimo do genitor do grupo 2 no ambiente k ;

μ é a média geral;

a_k é o efeito fixo do ambiente k , $k = 1, 2$;

g_i é o efeito aleatório da capacidade geral de combinação (CGC) do i -ésimo genitor ($i = 1, 2, 3, 4$) do grupo 1;

g_j é o efeito aleatório da capacidade geral de combinação (CGC) do j -ésimo genitor ($j = 1, 2, 3, 4$) do grupo 2;

s_{ij} é o efeito aleatório da capacidade específica de combinação (CEC) para os cruzamentos entre genitores do grupo 1 e do grupo 2;

$(ga)_{ik}$ e $(ga)_{jk}$ são os efeitos aleatórios das interações capacidades gerais de combinação x ambientes;

$(sa)_{ijk}$ é o efeito aleatório da interação capacidades específicas de combinação x ambientes; e

e_{ijk} é o erro experimental.

O estudo do efeito recíproco foi realizado, utilizando o método III de Griffing, que inclui os dados dos híbridos simples e dos recíprocos, e não inclui os genitores. Nesse caso, o modelo misto da análise dialélica conjunta utilizado foi o descrito por Cruz et al. (2004):

$$y_{ijk} = \mu + a_k + g_i + g_j + s_{ij} + r_{ij} + (ga)_{ik} + (ga)_{jk} + (sa)_{ijk} + (ra)_{ijk} + e_{ijk}$$

em que os efeitos do modelo são os mesmos descritos para o método II acrescidos de:

r_{ji} é o efeito aleatório recíproco que mede as diferenças proporcionadas pelo genitor i, ou j, quando utilizado como macho ou fêmea no cruzamento ij;

$(ra)_{ijk}$ é o efeito aleatório da interação recíprocos x ambientes.

Os efeitos recíprocos e as capacidades geral e específica de combinação, bem como os componentes de variância associados a esses efeitos, foram preditos utilizando a abordagem REML-BLUP (*Residual Maximum Likelihood – Best Linear Unbiased Predictor*), utilizando o Proc IML do software estatístico SAS 9.0 (SAS INSTITUTE, 2009). A significância dos efeitos foi obtida pela abordagem empírica Bayesiana descrita em Efron et al. (2001). Essa abordagem

testa a significância dos efeitos de forma semelhante ao critério FDR (*False Discovery Rate*) que controla a taxa de falsos positivos, ou seja, expressa a proporção de hipóteses nulas rejeitadas erroneamente (BENJAMINI; HOCHBERG, 1995). Entretanto a abordagem Bayesiana apresenta maior poder do teste estatístico que a FDR, garantindo maior confiabilidade da significância dos resultados. Detalhes do procedimento podem ser encontrados em Efron et al. (2001) e Efron e Tibishirani (2007).

Além do modelo III de Griffing, para o cálculo do efeito do recíproco, foi utilizada também a fórmula descrita por Menezes et al. (2009):

$$r_{ij} = \frac{(Y_{ij} - Y_{ji})}{2}$$

em que o efeito recíproco R_{ij} refere-se à diferença entre o híbrido H_{ij} , no qual i é o parental feminino e j o parental masculino, e o híbrido H_{ji} , em que j é o parental feminino e i o parental masculino. Os resultados foram submetidos ao teste t a 5% de probabilidade.

Para avaliar o comportamento das capacidades de combinação nos diferentes níveis de água do substrato, foi obtido biplot AMMI (additive main effect and multiplicative interaction), de forma semelhante à realizada por Balestre et al. (2009). Esse método integra a análise de variância e a técnica estatística multivariada denominada de análise de componentes principais. Assim, o AMMI combina, em um único modelo, componentes aditivos para os efeitos principais (genótipos e ambientes) e componentes multiplicativos para os efeitos da interação $G \times A$. Foi utilizado o software estatístico SAS (SAS INSTITUTE, 2009). A decomposição das interações para as capacidades gerais de combinação foi realizada de acordo com o modelo descrito por Duarte e Vencovsky (1999).

A relação entre as características avaliadas e os efeitos de CGC, CEC e recíprocos também foi estudada por meio de uma análise multivariada de componentes principais (PCA) segundo metodologia descrita em Abdi e Williams (2010). Inicialmente, os dados foram padronizados para que as características fossem colocadas na mesma escala de variação. Assim, apesar de serem medidas em diferentes unidades, as características tiveram o mesmo peso na análise, pois foram transformadas para obter uma variância comum. A análise de componentes principais foi realizada utilizando a função “prcomp” do pacote “stats” do software R (R CORE TEAM, 2015). Para facilitar a interpretação dos resultados, foi construído um gráfico contendo os dois primeiros componentes principais (PC1 e PC2) utilizando a função “biplot” do mesmo pacote estatístico.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Qualidade fisiológica de sementes, vigor de plântulas e heterose

A avaliação da qualidade fisiológica inicial das sementes produzidas foi realizada por meio do teste de envelhecimento acelerado (TABELA 1). Houve diferenças significativas de vigor entre alguns materiais utilizados. De acordo com Oliveira et al. (2013), a qualidade fisiológica de sementes é influenciada pelo genótipo e a seleção para essa característica deve ser considerada nos programas de melhoramento.

Tabela 1 - Valores médios de vigor, avaliados pelo teste de envelhecimento acelerado das sementes das linhagens, híbridos e recíprocos.

Genótipos	Médias	
L91	98	a
L63	91	b
L37	88	b
L32	94	a
L75	99	a
L31	80	c
L57	93	a
L24	88	b
H91x75	98	a
H91x31	97	a
H91x57	81	c
H91x24	94	a
H63x75	99	a
H63x31	97	a
H63x57	98	a
H63x24	97	a
H37x75	99	a
H37x31	93	a
H37x57	91	b

“Tabela 1, conclusão”

H37x24	95	a
H32x75	98	a
H32x31	94	a
H32x57	98	a
H32x24	90	b
R75x91	99	a
R31x91	100	a
R57x91	100	a
R24x91	98	a
R75x63	97	a
R31x63	96	a
R57x63	97	a
R24x63	99	a
R75x37	95	a
R31x37	94	a
R57x37	90	b
R24x37	91	b
R75x32	95	a
R31x32	97	a
R57x32	88	b
R24x32	97	a

*Agrupamento de médias, pelo teste de Scott e Knott a 5% de probabilidade.

Entre as linhagens, os maiores valores de vigor foram observados em sementes das linhagens L91, L32, L75 e L57, e os menores valores para a L31. Embora o híbrido H91x57 possua genitores com alta qualidade fisiológica, foi observado para o mesmo o menor vigor entre os demais híbridos.

Observaram-se, também, diferenças do vigor médio das sementes de alguns híbridos e seus recíprocos, a exemplo das combinações H91x57, H37x24, H32x57, H32x24 e seus respectivos recíprocos. Resultados semelhantes foram observados por Oliveira et al. (2015), os quais verificaram efeito materno para a

característica de vigor de sementes, quando avaliada por meio do teste de envelhecimento acelerado, em sementes de milho híbrido.

Quanto à avaliação da qualidade fisiológica de sementes em condições de estresse hídrico (TABELAS 1.1 a 1.14, localizadas no APÊNDICE A), observou-se, de maneira geral, superioridade dos híbridos e recíprocos em relação às linhagens para todas as características analisadas. Em condições de estresse hídrico, houve redução das médias observadas, principalmente, para as características de IVE (redução de 19,2% para as linhagens, 24,24% para híbridos e 25,37% para os recíprocos), CPA (38,13% para linhagens, 40,13% para híbridos e 36,94% para os recíprocos), CR (18,91% para linhagens, 21,88% para híbridos e 18,75% para recíprocos) e PSF (46,9% para linhagens, 48,6% para híbridos e 47,18% para os recíprocos). Menezes et al. (2015) observaram redução significativa de 39%, na produtividade média de 25 linhagens de sorgo, em condições de estresse hídrico.

De acordo com Kranner et al. (2010), as sementes, em geral, são intolerantes à incidência do estresse, durante o seu desenvolvimento ou na germinação, resultando na perda do vigor ou viabilidade. Entretanto os níveis de respostas, em relação a estas variáveis, dependem tanto do grau de estresse quanto da tolerância da espécie (KRANNER et al., 2010).

Em diversos trabalhos tem sido demonstrada a importância da heterose em plântulas de milho e, apesar de, na maioria deles, os estudos serem direcionados aos estádios de desenvolvimento, após a germinação, os mecanismos regulatórios da heterose já se manifestam logo após a fertilização (MEYER; POSPISIL; SCHOLTEN, 2007).

Em relação à heterose média (% em relação aos genitores) dos híbridos, foram encontrados altos valores para CR e PSR. Além disso, valores negativos foram observados em 19% dos genótipos para emergência, 37,5% para NR, 6%

para PSF e 12,5% PSR. Já, para os recíprocos houve, 25% de valores negativos para NR e 12,5% para PSR.

Para a característica IVE e emergência (TABELAS 1.1 a 1.4 - APÊNDICE A), não foram observadas diferenças significativas entre as linhagens para o ambiente sem estresse e na análise conjunta dos ambientes. Menores valores de IVE na condição de estresse foram observados para as linhagens L32, L31 e L57. Na análise conjunta dos ambientes, para os híbridos H37x75, H32x75 e H32x57, foram observadas as maiores médias de IVE, com 23,85%, 25,9% e 24,95% de heterose, em relação aos genitores, respectivamente. Já os recíprocos superiores para essa característica foram R75X91, R57x91, R57x37 e R24x37, sendo este último com a maior heterose média estimada de 30,1.

A porcentagem de emergência de plântulas das linhagens (TABELAS 1.3 e 1.4 - APÊNDICE A), no ambiente com estresse foi ligeiramente maior quando comparada ao ambiente sem estresse; os genótipos L91, L37, L75 obtiveram as maiores médias observadas nesta condição. Em relação aos híbridos, não foram observadas diferenças significativas para o ambiente com estresse. A porcentagem média de germinação dos híbridos, na análise conjunta dos ambientes variou de 88 a 99% e 91 a 99% para os recíprocos. A maior heterose estimada para os híbridos no ambiente sem estresse foi de 15,79% para o H37x75 e R75x37. Já para o ambiente com estresse, o maior valor de heterose foi estimado para o genótipo R57x63 (16,3%).

Para o comprimento de parte aérea (CPA) (TABELAS 1.5 e 1.6 - APÊNDICE A), maiores médias na análise conjunta dos ambientes foram observadas, em plântulas das linhagens L91 (12,6 cm) e L75 (12,4 cm) e, para as plântulas do híbrido H91x75, observou-se média de 15,2 cm e 19,45% de heterose. No entanto, para o híbrido H32x31 foi observada a maior porcentagem de heterose para essa característica, com 25,35%. Entre os recíprocos, a maior média observada foi para R31x63, com 15 cm e 26,1% de heterose.

Em relação ao peso seco de parte aérea (PSF) (TABELAS 1.11 e 1.12 - APÊNDICE A), maiores médias na análise conjunta dos ambientes foram observadas em plântulas das linhagens L75 (37,9 mg/plântula) e L57 (36 mg/plântula), para os híbridos H91x75 e H63x75 e, para os recíprocos R57x91, R75x63 e R57x63. A maior estimativa de heterose entre os híbridos foi de 42,9 % para H32x24 e 34,3% para o recíproco R24x63.

O vigor inicial das plântulas está, diretamente, relacionado com o rápido acúmulo de matéria seca na parte aérea (REBOLLEDO et al., 2015). No entanto, maior área foliar específica sob condições de estresse hídrico pode resultar em mais perdas de água e, conseqüentemente, na baixa eficiência foliar (TRACHSEL et al., 2010).

Assim, alguns caracteres das plantas que resultam na conservação da água podem ser benéficos em condições de estresse hídrico, tais como o sistema radicular profundo e bem desenvolvido (LOPES et al., 2011). De acordo com Li et al. (2015), a diversidade na morfologia de raízes deve ser explorada para maior eficiência na absorção de água e nutrientes

Para a característica comprimento total de raízes (CR) (TABELAS 1.7 e 1.8 - APÊNDICE A), menores valores, na análise conjunta dos ambientes, foram observados somente em plântulas das linhagens L37 e L31 (14,2 e 14,8, respectivamente). As maiores médias de CR foram observadas para os híbridos H91x75 (23,2 cm), H91x24 (23,2 cm), H32x75 (22,9 cm) e H32x24 (21,4 cm) e, para os recíprocos R75x91 (22,4 cm), R31x91 (22,3 cm), R57x91 (22,9 cm), R24x91 (23,1 cm) e R24x32 (21,5 cm). Foram observados altos valores de heterose para CR, principalmente para os híbridos H91x75 (38,2%), H91x24 (36,35%) e H32x75 (35,55%) e para os recíprocos R31x91 (39,95%) e R57x91 (37,2%).

Ao analisarem seis combinações híbridas, Hoecker et al. (2006) verificaram que o comprimento da raiz primária revela maior heterose que a

largura em si, variando de 17 a 25%. Ainda, de acordo com os autores, o alongamento da raiz é a maneira mais efetiva de se aumentar a superfície de absorção das raízes.

A expressão da heterose, na qualidade fisiológica de sementes de milho híbrido, foi demonstrada, no trabalho de Gomes et al. (2000a), no qual a maior magnitude dos valores de heterose, para as características de comprimento de parte aérea e radícula, evidenciaram a importância do vigor híbrido na fase inicial do desenvolvimento da plântula.

Em condições de estresse, Sharp et al. (2004) afirmaram que o crescimento da parte aérea é mais afetado em comparação ao desenvolvimento do sistema radicular, o qual continua a se alongar, apesar das raízes se tornarem mais finas dependendo da intensidade e duração do estresse. De acordo com Lissar et al. (2012), a razão raiz/parte aérea aumenta em condições de estresse hídrico para facilitar a absorção de água e manter a pressão osmótica.

Dentre as linhagens avaliadas nesta pesquisa, em plântulas da linhagem L24, obteve-se o maior aumento na razão CR/CPA (TABELA 2) em condição de estresse hídrico.

Tabela 2 - Razão entre comprimento radicular (CR) e comprimento de parte aérea (CPA) para os ambientes com e sem estresse e a diferença entre os ambientes.

Genótipos	Razão CR/CPA		Razão CR/CPA		Diferença	
	- Sem estresse		- Com Estresse		entre ambientes	
L91	1,20	d	1,63	c	0,43	b
L63	1,34	d	1,69	c	0,35	c
L37	1,25	d	1,56	d	0,31	c
L32	1,65	b	2,12	b	0,47	b
L75	1,19	d	1,51	d	0,32	c
L31	1,23	d	1,33	d	0,10	c
L57	1,31	d	1,59	c	0,28	c
L24	1,18	d	2,20	a	1,02	a

“Tabela 2, conclusão”

H91x75	1,37	d	1,84	c	0,47	b
H91x31	1,27	d	1,46	d	0,19	c
H91x57	1,46	c	1,94	b	0,48	b
H91x24	1,50	c	2,27	a	0,77	a
H63x75	1,39	d	1,67	c	0,28	c
H63x31	1,19	d	1,75	c	0,56	b
H63x57	1,43	c	1,84	c	0,41	b
H63x24	1,47	c	1,70	c	0,23	c
H37x75	1,62	b	1,64	c	0,03	c
H37x31	1,25	d	1,41	d	0,16	c
H37x57	1,44	c	1,71	c	0,28	c
H37x24	1,53	c	2,16	b	0,64	b
H32x75	1,89	a	2,31	a	0,43	b
H32x31	1,21	d	1,67	c	0,46	b
H32x57	1,60	b	2,13	b	0,53	b
H32x24	1,47	c	2,37	a	0,91	a
R75x91	1,47	c	2,01	b	0,54	b
R31x91	1,58	c	2,09	b	0,51	b
R57x91	1,54	c	1,86	c	0,33	c
R24x91	1,65	b	2,13	b	0,49	b
R75x63	1,33	d	1,69	c	0,36	c
R31x63	1,17	d	1,61	c	0,44	b
R57x63	1,42	c	1,61	c	0,19	c
R24x63	1,37	d	1,76	c	0,39	c
R75x37	1,33	d	1,78	c	0,45	b
R31x37	1,28	d	1,47	d	0,19	c
R57x37	1,40	d	1,66	c	0,27	C
R24x37	1,47	c	2,13	b	0,66	b
R75x32	1,33	d	1,99	b	0,66	b
R31x32	1,41	c	1,66	c	0,24	c
R57x32	1,54	c	2,00	b	0,46	b
R24x32	1,70	b	2,13	b	0,44	b

*Agrupamento de médias, pelo teste de Scott e Knott a 5% de probabilidade.

No ambiente sem estresse, a razão foi de 1,18 e, sob condição de estresse, foi de 2,20, o que representa aumento significativo de 1,20 unidades. Esse mesmo comportamento foi observado em plântulas dos híbridos H91x24 e H32x24, com um aumento de 0,77 e 0,91 unidades, respectivamente.

A redução no crescimento da parte aérea sob condições de estresse é uma das importantes causas da baixa produtividade, reflexo da redução fotossintética (LISAR et al., 2012). Em algumas pesquisas tem sido sugerido que o aprofundamento das raízes é um dos fatores mais importantes do que a biomassa radicular (EDEMEADES et al., 2013). No entanto Shao et al. (2008), relataram que o número de raízes seminais é um fator importante que deve ser levado em consideração quanto à tolerância ao estresse hídrico.

Em relação ao número de raízes seminais (TABELA 1.9 e 1.10 - APÊNDICE A), observou-se, na condição de estresse, um maior número dessas raízes para os híbridos (4,7) e recíprocos (4,9) quanto ao ambiente sem estresse (4,5 para híbridos e 4,6 para recíprocos). Para as linhagens, a média total observada nos dois ambientes foi de 4,3. Na análise conjunta dos ambientes, maior média foi observada em plântulas da linhagem L91 (6,6), seguida das linhagens L63 (5,6) e L32 (5,8). Em plântulas da linhagem L75 e L57, obtiveram-se as menores médias, com apenas 2,3 e 2,7, respectivamente. Entre os híbridos, as maiores médias verificadas foram para H91x31 (6,6) e H32x31 (6,5). As maiores heteroses para NR, também foram observadas para esses híbridos, com 28,3 e 34,65%, respectivamente. Entre os recíprocos, R31x91 (6,4) e R24x91 (6,2) foram os cruzamentos superiores, obtendo este último, a maior heterose (29,2%) entre os recíprocos.

Resultados semelhantes foram encontrados, em trabalhos desenvolvidos por Hoecker et al. (2006), nos quais a característica densidade de raízes laterais de híbridos aos cinco dias após a germinação, mostrou elevada heterose entre as características analisadas, com média de 50%. Raízes seminais também

demonstraram boa heterose, com cerca de 18% a mais quando comparado com os seus genitores. Esse resultado pode explicar a superioridade das plântulas de milho híbrido em relação às linhagens, pois as raízes seminais são responsáveis pela absorção de água e nutrientes nas primeiras semanas do desenvolvimento da plântula.

Ainda, para a característica NR, foram observadas heteroses negativas, destacando-se o híbrido H63x57, com -16,7%, no ambiente sem estresse e o recíproco R24x32, com -15,9% de heterose, no ambiente com estresse.

Em relação ao peso seco de raízes (PSR) (TABELA 1.13 e 1.14 - APÊNDICE A), maiores médias, na análise conjunta dos ambientes, foram observadas, para a linhagem L75, com 67,4 mg/plântula, para o híbrido H91x75 (73,7 mg/plântula) e para o recíproco R31x63 (71 mg/plântula). Maior heterose foi encontrada para o híbrido H37x24 (68,1%) e para o recíproco R31x63 (120%). Já, para os híbridos H63x75 e R75x32, foi observada heterose negativa de -18,5% e -25%, respectivamente.

3.2 Análise da capacidade de combinação

A análise da capacidade de combinação foi estimada pelo modelo II, proposto por Griffing (1956), o qual leva em consideração os fenótipos dos genitores e dos híbridos. As estimativas dos componentes de variância capacidade geral de combinação ($\hat{\sigma}_g^2$), capacidade específica de combinação ($\hat{\sigma}_s^2$) e de suas interações com os ambientes estão apresentadas na Tabela 3.

Observou-se, para as características PSF e PSR, estimativas nulas de CGC e CEC. Assim, essas características poderiam ser descartadas do processo de seleção, uma vez que não houve variabilidade para as mesmas.

Em relação às estimativas de variância da CGC, houve poucas diferenças nas magnitudes para as características analisadas, variando de 0 a 3,99. Com

exceção da característica de emergência, maiores estimativas foram observadas, para a CGC do grupo 1, evidenciando a maior variabilidade para esses genótipos.

Tabela 3 - Estimativas dos componentes de variância da capacidade geral de combinação ($\hat{\sigma}_g$), capacidade específica de combinação ($\hat{\sigma}_s$) e de suas interações com os ambientes, para as características de índice de velocidade de emergência (IVE), emergência (EMERG), comprimento de parte aérea (CPA), comprimento radicular (CR), número de raízes seminais (NR), peso seco da parte aérea (PSF) e peso seco de raízes (PSR).

	IVE	EMERG	CPA	CR	NR	PSF	PSR
$\hat{\sigma}_{g_1}^2$	0,0275	1,2276	0,3192	0,4010	1,6366	0,0000	0,0000
$\hat{\sigma}_{g_2}^2$	0,0130	3,9998	0,1044	0,0019	0,1274	0,0000	0,0000
$\hat{\sigma}_s^2$	0,2787	12,025	1,5984	15,084	0,3273	0,0000	0,0000
$\hat{\sigma}_{g_1 \times a}^2$	0,0034	1,2173	0,0686	0,0006	0,0002	0,0000	0,0000
$\hat{\sigma}_{g_2 \times a}^2$	0,0204	1,6327	0,0099	0,4193	0,0009	0,0000	0,0000
$\hat{\sigma}_{s \times a}^2$	0,0103	0,0202	0,3243	0,0042	0,0014	0,0000	0,0000
$\hat{\sigma}_e^2$	0,4732	64,491	1,1867	3,9604	0,2755	0,0000	0,0001

Maior variância de CGC do grupo 1 quanto à CEC, foi observada apenas para a característica NR, o que ressalta a maior importância dos efeitos aditivos, para esta característica em relação aos genótipos deste grupo. Para as demais características, foram observadas maiores magnitudes de variância da CEC, especialmente, para emergência (12,02) e CR (15,08). A maior importância dos efeitos não aditivos diz respeito à presença da ação gênica dominante, na qual cada loco contribui para a formação do fenótipo.

Resultados semelhantes foram relatados, no estudo de Gomes et al. (2000b), para qualidade fisiológica de sementes de milho tropical, no qual os autores concluíram que houve efeitos significativos para CGC e CEC, e que os efeitos não aditivos foram mais importantes, para os testes de emergência, índice de velocidade de germinação, comprimento de parte aérea e raiz, IVE, entre outros.

O efeito genético da seleção precoce de genótipos de milho, por meio da avaliação da qualidade de sementes, também foi estudado por Mortele et al. (2011). Nesse estudo foi observada a maior importância dos efeitos não aditivos para os genótipos avaliados.

A maior importância dos efeitos não aditivos na qualidade fisiológica de sementes também foi relatado por Cabral et al. (2013), ao avaliarem sementes de dez linhagens de milho pipoca, em cruzamento dialélico completo com recíproco.

Em relação à interação CGC x Ambientes, observou-se estimativas de baixa magnitude, exceto para a característica emergência, na qual houve alta variação tanto para os genótipos do grupo 1 quanto para o grupo 2. A interação com o ambiente afeta a expressão dos alelos que controlam essas características, o que pode gerar baixa precisão na predição do comportamento dos híbridos. Já, para a interação CEC x Ambientes, observou-se magnitude relativamente alta apenas para a característica CPA.

Observou-se, também, alta magnitude da variância do erro para a característica emergência.

O estudo da diversidade genética de linhagens e populações gera importantes informações para os programas de desenvolvimento de híbridos. Um dos objetivos do melhoramento de milho é identificar linhagens que possam participar de cruzamentos e produzir híbridos com elevada produtividade (MAKUMBI et al., 2011). Diante disso, o estudo do controle genético, por meio da análise da capacidade de combinação em genótipos de milho, é fundamental para estabelecer estratégias de melhoramento visando à tolerância ao estresse hídrico.

3.3 Estimativas do efeito de capacidade geral e específica de combinação

As estimativas de CGC encontram-se na Tabela 4. Apenas algumas das estimativas de CGC foram significativas.

Tabela 4 - Estimativas dos efeitos de capacidade geral de combinação (\hat{g}) para as características de índice de velocidade de emergência (IVE), emergência (EMERG), comprimento de parte aérea (CPA), comprimento radicular (CR), número de raízes seminais (NR), peso seco da parte aérea (PSF) e peso seco de raízes (PSR).

Genitor	IVE	EMER	CPA	CR	NR	PSF	PSR
\hat{g}_{91}	0,138	1,170	0,483	0,403	1,716*	0,000	-0,001
\hat{g}_{63}	0,023	-0,100	0,098	0,350	1,176*	0,000	-0,001
\hat{g}_{37}	-0,025	0,021	-0,423	-0,755*	0,626*	-0,001	-0,001
\hat{g}_{32}	-0,208*	-0,430	-0,745*	0,507	1,292*	-0,001	0,001
\hat{g}_{75}	0,085	1,368	0,358	0,000	-0,416*	0,002	0,009*
\hat{g}_{31}	-0,055	-0,985	0,119	-0,004	0,353	-0,000	-0,001
\hat{g}_{57}	0,057	0,003	0,037	0,000	-0,260	0,002	0,003
\hat{g}_{24}	-0,052	-2,539*	-0,322	0,002	-0,051	-0,001	-0,004

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Para IVE e CPA, apenas para a linhagem L32 foram obtidas estimativas significativas e negativas. Para emergência, o único valor significativo de CGC foi observado para a L24, com estimativa negativa, que, também foi observado para CR, no qual apenas a L37 foi significativa. Estimativas positivas para CGC foram encontradas para as características NR (L91, L63, L37 e L32) e PSR (L75). Para NR, também foi observado valor significativo negativo para L75. Não foram observados valores significativos para PSF e, para PSR, apenas a linhagem L75 foi significativa, com valor positivo.

A CGC se refere ao comportamento médio de um parental em relação a todos os cruzamentos de que ele participa, sendo ele considerado superior ou inferior aos demais, de acordo com as estimativas de CGC positivas ou negativas, respectivamente. Em caso de estimativas próximas de zero, pode-se inferir que o parental não difere seu comportamento da média geral dos outros cruzamentos (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012).

Vale ressaltar que a significância dos efeitos obtidos, neste trabalho, foi realizada pela abordagem empírica Bayesiana, que consiste em um teste estatístico extremamente rigoroso, o que justifica a baixa incidência dos resultados significativos encontrados nesta pesquisa. De maneira geral, ao se observar a magnitude dos valores da CGC (TABELA 4), maiores estimativas positivas foram observadas, para as linhagens L91, seguida da L63 e L75 e menores estimativas negativas foram observadas para a linhagem L24. Para as linhagens L91 e L75 foram observadas as maiores médias para as características analisadas e, para a linhagem L24, as menores médias.

Para as características de raiz (CR, NR e PSR), observaram-se valores positivos para a CGC da linhagem L32. As estimativas dos efeitos da CGC proporcionam informações a respeito da concentração de genes predominantemente aditivos em seus efeitos e têm sido de importante utilidade na recomendação de genitores superiores (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012).

Dessa forma, as linhagens L91, L75 e L63 proporcionaram melhores contribuições ao aumento da média, para as características avaliadas, com alelos favoráveis pela maior estimativa de CGC.

Efeitos positivos para CGC, para produção de grãos de linhagens de milho sob condições de estresse hídrico, foram encontrados por Makumbi et al., (2011), sendo os efeitos gênicos aditivos mais importantes do que os não aditivos naquelas condições.

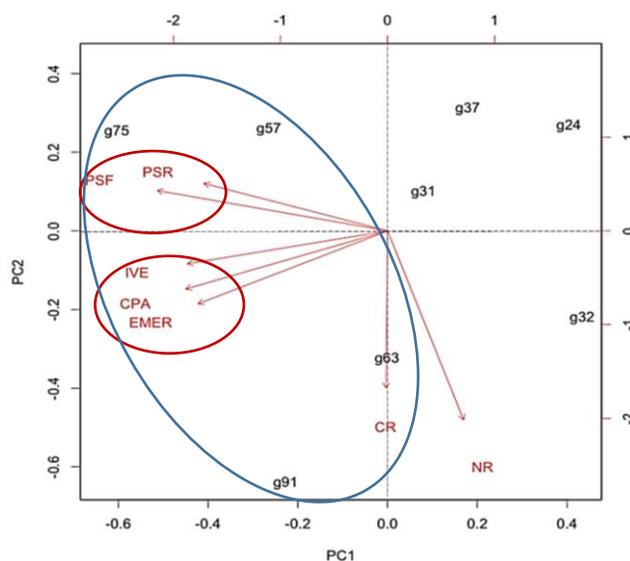
Para visualizar o comportamento dos genótipos quanto à CGC, nos dois ambientes de capacidade de retenção de água do substrato, foram obtidos gráficos do tipo biplot para a análise AMMI. O ranqueamento das magnitudes da CGC foi indexado em cada ponto correspondente ao seu genótipo.

A análise de componentes principais entre as estimativas da interação CGC x Variáveis está apresentada no Gráfico 1.

Observou-se a correlação dos genótipos L63, L91, L75 e L57 com as características avaliadas, uma vez que possuem vetores apontados para uma direção comum (GRÁFICO 1). Observaram-se, para essas linhagens, as maiores frequências de estimativas positivas de CGC.

Assim, a análise de componentes principais foi eficiente na separação dos genótipos quanto à CGC relacionada à qualidade fisiológica de sementes e desempenho das plântulas. Resultado semelhante foi descrito, no trabalho de Souza Guimaraes et al. (2014), no qual a análise de componentes principais, também foi eficiente na separação de híbridos de milho submetidos ao estresse hídrico durante o estágio vegetativo.

Gráfico 1 - Análise de componentes principais (IPCA1 e IPCA2), para os dados da interação CGC x Variáveis.



Além disso, ressalta-se a similaridade entre as características de IVE, emergência e CPA; PSF e PSR. Dessa forma, foram discutidos apenas os biplots

AMMI, para as características de IVE, NR e CR, por serem discrepantes e apresentarem maiores magnitudes de CGC.

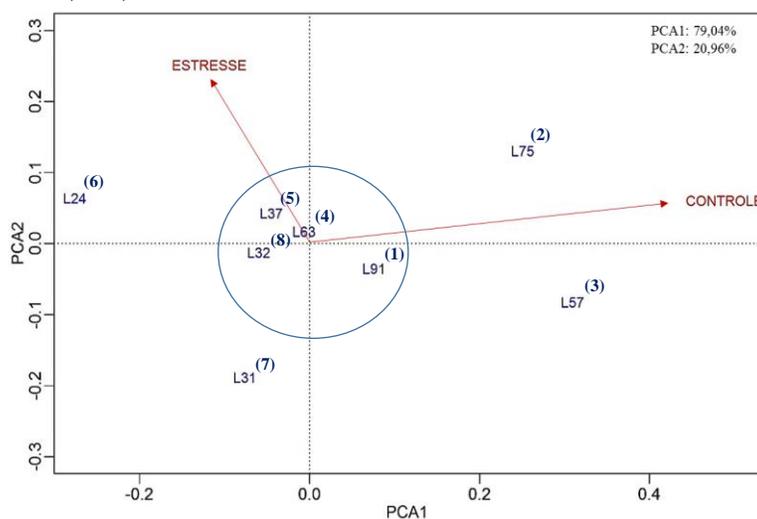
Observou-se, por meio dos gráficos biplot AMMI (GRÁFICOS 2, 3 e 4), clara diferenciação entre os dois ambientes de capacidade de retenção de água do substrato, em relação ao primeiro componente principal, para todas as características, o que confirma a boa precisão na condução do experimento. Além disso, observou-se que, para as características de raiz NR e CR, em 10% da capacidade de retenção de água, obteve-se alto escore no PCA1, sendo altamente capaz de discriminar os genótipos. Para IVE, o PCA2, para o ambiente de 70% da capacidade de retenção de água, foi próximo de zero, indicando que esse ambiente proporcionou a maior CGC para essa característica.

Para as características de IVE, NR e CR (GRÁFICOS 2, 3 e 4), observou-se que os genótipos mais estáveis, com pouca interação das estimativas de CGC com os ambientes, foram as linhagens L63, L37, L32 e L91, as quais foram previamente classificadas como tolerantes ao estresse hídrico. Porém, além da estabilidade, um bom desempenho deve ser levado em consideração na recomendação de cultivares (DUARTE; VENCOVSKY, 1999). Dessa forma, a linhagem L91 destaca-se entre as demais, com boa magnitude positiva de CGC e altos valores médios para essas características. Esse resultado é consistente com os observados, em diversos trabalhos, nos quais também a linhagem 91 tem sido associada à tolerância a diversos tipos de estresses, tais como estresse hídrico (ABREU et al., 2014, 2016), tolerância à sementeira em baixas temperaturas (SILVA-NETA et al., 2015) e alta qualidade fisiológica (OLIVEIRA et al., 2013, ANDRADE, 2015).

Em relação ao IVE (GRÁFICO 2), para as linhagens L75 e L57, nas quais observaram-se altas magnitudes positivas de CGC, foi observada boa adaptabilidade ao ambiente sem estresse. Já a linhagem L24, para a qual obteve-se a maior frequência de estimativas negativas de CGC, observou-se boa

adaptabilidade, ao ambiente com estresse hídrico, em relação às demais linhagens, fato observado para a maioria das características analisadas. Embora a linhagem L24 seja classificada como pouco tolerante ao estresse hídrico, essa boa adaptação ao ambiente com estresse pode ser explicada pelo teste de médias. Ao comparar o comportamento da L24 entre os ambientes avaliados, de maneira geral, foi a que menos sofreu ou, inclusive, obteve desempenho melhor na condição de estresse hídrico em relação às demais linhagens, como, por exemplo, para o IVE (4,9 no ambiente sem estresse e 4,8 no ambiente com estresse), CR (15,5 cm no ambiente sem estresse e 17,9 cm no ambiente com estresse) e NR (2,8 no ambiente controle e 3,4 no ambiente com estresse). Além disso, observou-se, para essa linhagem, o maior aumento na razão entre CR e CPA em condições de estresse hídrico (TABELA 2), o que garante uma boa adaptação a esse ambiente.

Gráfico 2 - Biplot AMMI 2 com os dois primeiros componentes principais de interação (IPCA1 e IPCA2), para dados de CGC x Ambientes relacionados à característica de índice de velocidade de emergência (IVE).



Observou-se, também, para a característica IVE, o comportamento contrastante entre as linhagens L75 e L57 com as linhagens L31 e L24, respectivamente, pois possui escores com sinais opostos, sugerindo, assim, uma combinação desfavorável entre elas.

Para a característica NR (GRÁFICO 3), observou-se, para as linhagens L31 e L75, boa adaptabilidade, ao ambiente sem estresse, e as linhagens L24 e L57, ao ambiente com estresse. Além disso, observou-se, para a linhagem L31, comportamento contrastante em relação às linhagens L24 e L57.

Em relação ao CR (GRÁFICO 4), boa adaptabilidade ao ambiente sem estresse foi observada para as linhagens L57 e L75 e, para o ambiente com estresse hídrico, somente a linhagem L24. Para esta característica, observou-se um antagonismo.

Gráfico 3 - Biplot AMMI 2 com os dois primeiros componentes principais de interação (IPCA1 e IPCA2), para dados de CGC x Ambientes relacionados à característica número de raízes seminais (NR).

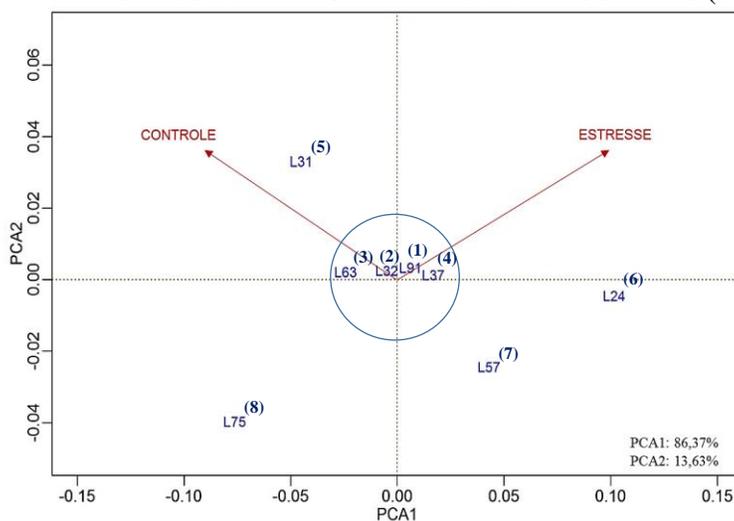
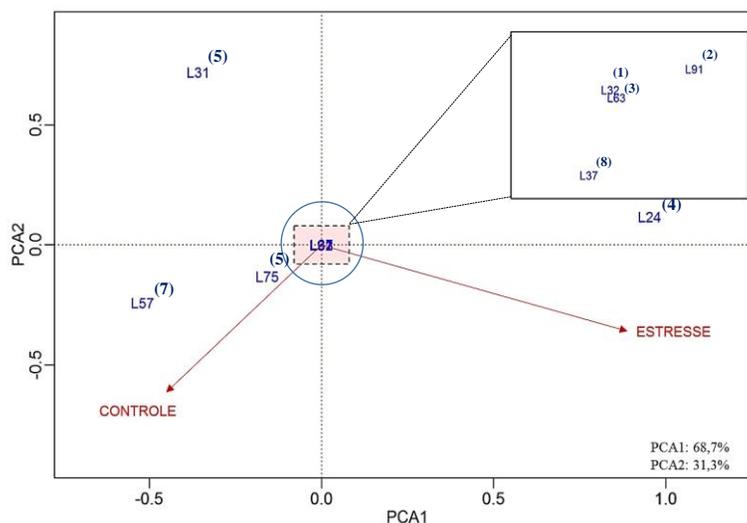


Gráfico 4 - Biplot AMMI 2 com os dois primeiros componentes principais de interação (IPCA1 e IPCA2), para dados de CGC x Ambientes relacionados à característica comprimento radicular (CR).



As estimativas de CEC referem-se ao desempenho da combinação híbrida e indica a existência de genes com ação não aditiva no controle genético do caráter. Baixas estimativas de CEC indicam que os genótipos envolvidos no cruzamento, não são contrastantes para os alelos que controlam estas características (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012), fato que não é desejável para o desenvolvimento de híbridos de milho.

Maiores estimativas de CEC, apresentadas na Tabela 5, foram observadas para os híbridos H37x75, H37x57 e H37x24 para IVE e H37x57 e H37x24 para emergência. Para CPA, maiores estimativas de CEC foram observadas, para o híbrido H37x57, seguido dos H91x75 e H32x31, obtendo-se nesses dois últimos, altos valores de heterose para essa característica.

Em relação à característica CR, para os híbridos H91x24 e H91x75, os quais possuem alta heterose e provêm de genitores com boas estimativas de CGC para esta característica, também foram verificadas as maiores estimativas positivas de CEC. O mesmo foi observado para NR, no qual os híbridos H91x31

e H32x31, também com alta heterose e boa estimativa de CGC dos genitores, observaram-se maiores estimativas positivas para CEC.

Tabela 5 - Estimativas dos efeitos da capacidade específica de combinação (\hat{s}) para as características de índice de velocidade de emergência (IVE), emergência (EMERG), comprimento de parte aérea (CPA), comprimento radicular (CR), número de raízes seminais (NR), peso seco da parte aérea (PSF) e peso seco de raízes (PSR).

Genitor	IVE	EMER	CPA	CR	NR	PSF	PSR
$\hat{S}_{91 \times 75}$	0,4662*	0,4038	1,5069*	5,9085*	0,2336	0,0038	0,0077
$\hat{S}_{91 \times 31}$	0,4144*	2,3375	0,3919	3,3759*	1,1428*	0,0023	0,0056
$\hat{S}_{91 \times 57}$	0,3984	-0,6107	0,7770	4,6298*	0,1436	0,0016	0,0038
$\hat{S}_{91 \times 24}$	0,4298*	2,0547	0,9251	6,0568*	0,4902*	0,0031	0,0057
$\hat{S}_{63 \times 75}$	0,3650	1,4513	1,1927*	3,0403*	-0,1549	0,0034	-0,0045
$\hat{S}_{63 \times 31}$	0,5669*	3,5721	2,3646*	3,3359*	0,6119*	0,0037	0,0149*
$\hat{S}_{63 \times 57}$	0,4617*	3,6178	1,2714*	3,5076*	0,0275	0,0029	0,0067
$\hat{S}_{63 \times 24}$	0,2487	1,6052	1,0737*	2,3955*	-0,1058	0,0037	0,0053
$\hat{S}_{37 \times 75}$	0,7986*	2,8126	0,8457	3,7378*	0,5912*	0,0017	0,0021
$\hat{S}_{37 \times 31}$	0,2766	1,3780	0,9852*	1,2906*	0,5819*	0,0012	0,0033
$\hat{S}_{37 \times 57}$	0,7078*	4,0434*	1,2156*	3,3229*	0,4479*	0,0030	0,0073
$\hat{S}_{37 \times 24}$	0,7125*	5,7733*	0,7158	4,3011*	0,3263	0,0034	0,0107*
$\hat{S}_{32 \times 75}$	0,5154*	2,0077	0,2861	3,7029*	0,0543	0,0015	-0,0040
$\hat{S}_{32 \times 31}$	0,2731	2,2572	1,4770*	1,6038*	1,2123*	0,0026	0,0019
$\hat{S}_{32 \times 57}$	0,3874	2,1158	0,7758	3,4448*	-0,3971*	0,0021	0,0031
$\hat{S}_{32 \times 24}$	0,2481	3,6585	1,1634*	4,2878*	-0,3054	0,0056*	0,0038

*Significativo a 5% de probabilidade.

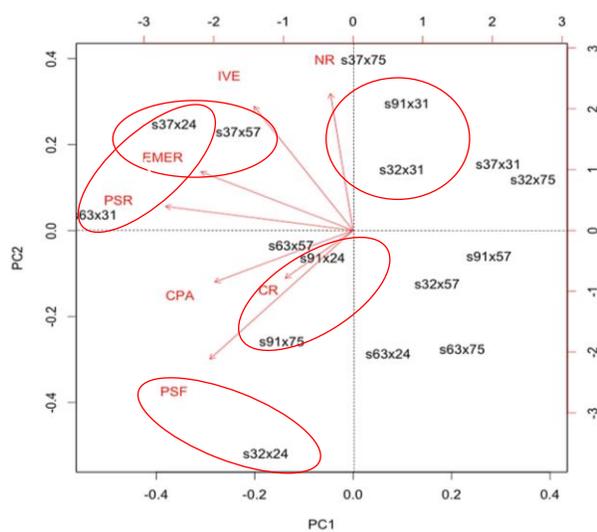
Maior CEC, também foi observado, para o híbrido H32x24 em relação ao PSF e, para H63x31 e H37x24 em relação ao PSR, híbridos, também, com alta heterose.

A melhor combinação híbrida, de acordo com Cruz, Regazzi e Carneiro (2012) é aquela que apresenta maior estimativa de CEC e que seja resultante de um cruzamento em que, pelo menos um dos parentais possua eleva CGC. Portanto, de maneira geral, as melhores combinações híbridas foram H91x75, H63x31, H91x24, H91x31.

O mesmo comportamento observado, para as estimativas de CEC, pôde ser observado, na análise de componentes principais entre as estimativas da interação CEC e as variáveis, que estão apresentadas no Gráfico 5.

Além disso, observou-se similaridade entre as características emergência e PSR; e CPA, CR e PSF (GRÁFICO 5). Assim, foram apresentados e discutidos apenas os biplots para as características de IVE, NR e CR.

Gráfico 5 - Análise de componentes principais (IPCA1 e IPCA2), para os dados da interação CEC x Variáveis.



Para as características de IVE (GRÁFICO 6) e NR (GRÁFICO 8), o híbrido H63x24 parece ter maior estabilidade de CEC em relação aos demais.

Para IVE (GRÁFICO 6), os híbridos H32x24, H32x31, H32x57, H32x75, H63x31, H91x75, H37x24 e H37x75 foram considerados adaptados em ambos os ambientes em relação às suas CEC. Observou-se adaptabilidade específica dos híbridos H63x57 e H37x31 ao ambiente com estresse e dos híbridos H37x57, H91x31, H91x24, H91x37 e H63x75 ao ambiente sem estresse.

Gráfico 6 - Biplot AMMI 2 com os dois primeiros componentes principais de interação (IPCA1 e IPCA2), para dados de CEC x Ambiente relacionados à característica índice de velocidade de emergência (IVE)

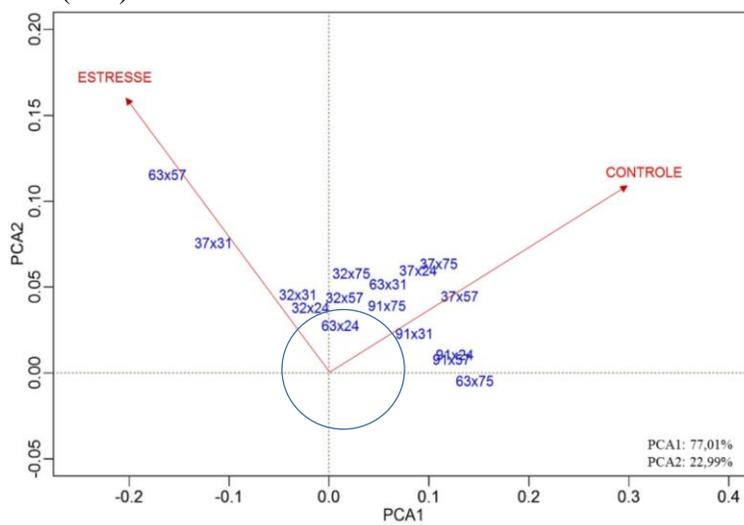
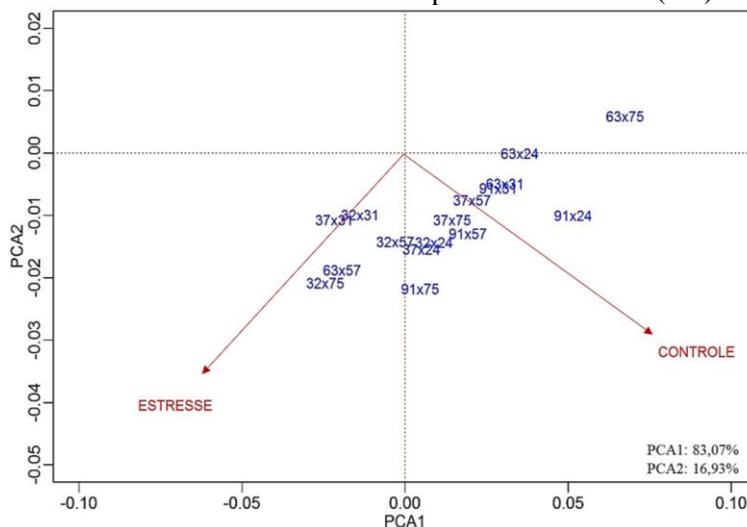


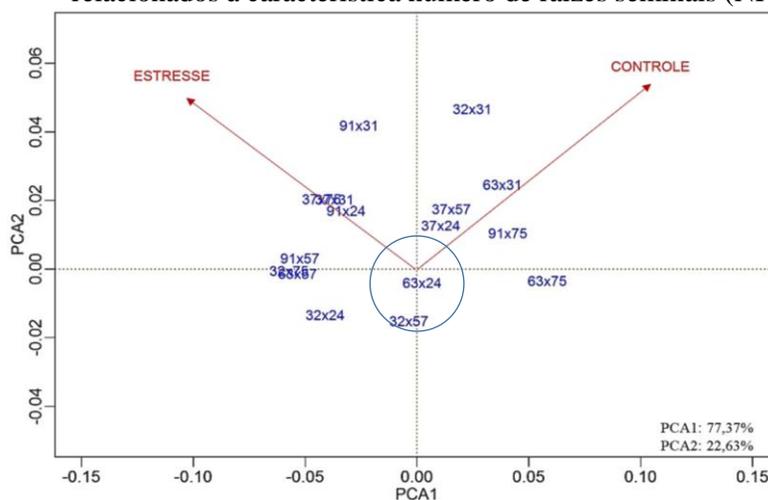
Gráfico 7 - Biplot AMMI 2 com os dois primeiros componentes principais de interação (IPCA1 e IPCA2), para dados de CEC x Ambiente relacionados à característica comprimento radicular (CR).



Em relação ao CR (GRÁFICO 7), adaptação ampla aos dois ambientes foi observada para os híbridos H63x57, H32x75, H91x75, H32x57, H37x24, H32x24, H37x75 e H91x57. Já os híbridos H37x57, H91x31, H91x24, H63x31, H63x24 e H63x75 foram mais adaptados ao ambiente sem estresse, e os híbridos H32x31 e H37x31, os quais obtiveram menores estimativas de CEC, foram os mais adaptados ao ambiente com estresse.

Em relação ao NR (GRÁFICO 8), observou-se que os híbridos H32x75, H63x57, H91x57, H91x24, H37x75, H37x31 e H32x24 possuíram adaptação específica ao ambiente com estresse, e os híbridos H63x31, H91x75 e H63x75 foram mais adaptados ao ambiente sem estresse. Os híbridos H91x31, H32x31, H37x57 e H37x24 foram de ampla adaptação aos ambientes, obtendo os dois últimos, maiores estimativas de CEC para esta característica.

Gráfico 8 - Biplot AMMI 2 com os dois primeiros componentes principais de interação (IPCA1 e IPAC2), para dados de CEC x Ambiente relacionados à característica número de raízes seminais (NR).



3.4 Efeito recíproco

Embora as estimativas dos efeitos da CEC sejam úteis na escolha das melhores combinações híbridas, a CEC não especifica qual dos genitores deve ser utilizado como parental feminino ou masculino no cruzamento, justificando, assim, o estudo do efeito do recíproco (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012).

Neste trabalho, o efeito do recíproco foi obtido, primeiramente, por meio do modelo III, proposto por Griffing (1956), o qual inclui os fenótipos dos híbridos simples e seus recíprocos. Assim, foi estimada a importância relativa dos efeitos genéticos aditivos e não aditivos, na expressão das características, as capacidades geral e específica de combinação e o efeito do recíproco.

As estimativas dos componentes de variância da capacidade geral de combinação ($\hat{\sigma}_g$), capacidade específica de combinação ($\hat{\sigma}_s$), o efeito do recíproco ($\hat{\sigma}_r$) e as suas interações com os ambientes, avaliadas por meio do modelo III (GRIFFING, 1956), estão apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6 - Estimativas dos componentes de variância de CGC (\hat{g}), CEC (\hat{s}), recíprocos (\hat{r}) e das interações com os ambientes, para as características de índice de velocidade de emergência (IVE), emergência (EMERG), comprimento de parte aérea (CPA), comprimento radicular (CR), número de raízes seminais (NR), peso seco da parte aérea (PSF) e peso seco de raízes (PSR).

	IVE	EMERG	CPA	CR	NR	PSF	PSR
$\hat{\sigma}_{g_1}^2$	0,0263	0,0029	0,4541	1,3622	0,2194	0,0000	0,0000
$\hat{\sigma}_{g_2}^2$	0,0182	0,0610	0,0506	0,9456	0,4902	0,0000	0,0000
$\hat{\sigma}_s^2$	0,0009	0,0139	0,0141	0,0092	0,0183	0,0000	0,0000
$\hat{\sigma}_r^2$	0,1078	5,7083	0,2452	1,1480	0,1449	0,0000	0,0000
$\hat{\sigma}_{g_1 \times a}^2$	0,0059	0,7355	0,0420	0,0007	0,0002	0,0000	0,0000
$\hat{\sigma}_{g_2 \times a}^2$	0,0100	0,0074	0,0006	0,2584	0,0002	0,0000	0,0000
$\hat{\sigma}_{s \times a}^2$	0,0038	0,0140	0,1850	0,0021	0,0012	0,0000	0,0000
$\hat{\sigma}_{r \times a}^2$	0,0270	1,7627	0,2513	0,3794	0,0055	0,0000	0,0000
$\hat{\sigma}_e^2$	0,2955	24,8331	0,9381	2,6759	0,1944	0,0000	0,0001

Observou-se, mais uma vez, que, para as características PSF e PSR não houve variância para nenhum dos componentes avaliados.

De maneira geral, foram observadas baixas estimativas, para a variância de CGC e de CEC, com exceção para a CGC do grupo 1 em relação à característica CR. No entanto, a alta magnitude observada para o efeito do recíproco em relação à CEC para quase todas as características de qualidade fisiológica, ressalta a presença do efeito materno para essas características. Resultados semelhantes foram encontrados por Gomes et al. (2000b), Mortelet et al. (2011) e Cabral et al. (2013), embora a presença do efeito recíproco, para a característica IVE não tenha sido observada nos trabalhos de Gomes et al. (2000b) e Mortelet et al. (2011).

A variância observada na interação entre o efeito do recíproco e o ambiente foi, relativamente, superior em comparação com as demais interações ambientais, indicando a diferença no comportamento dos recíprocos entre os ambientes.

Além disso, a inclusão dos recíprocos influenciou, significativamente, a estimativa do erro, de maneira a reduzi-la para todas as características, quando comparado com as estimativas geradas pelo modelo II de Griffing (1956) (TABELA 3).

Foram encontrados, por meio do modelo III (GRIFFING, 1956), poucos efeitos recíprocos significativos (TABELA 7). O maior poder do teste estatístico, com abordagem empírica Bayesiana, pode ser a justificativa para a baixa incidência dos resultados significativos encontrados nesta pesquisa, em comparação aos demais trabalhos.

Entre os resultados significativos encontrados, R75x63 para a característica IVE, R24x91, R75x63 e R57x63 para emergência e R75x91 para CR, os efeitos observados foram negativos. No entanto nenhum desses resultados se enquadra àqueles encontrados nos testes de desempenho das plântulas.

Tabela 7 - Estimativas dos efeitos recíprocos obtidos pelo modelo III (Griffing, 1956) para as características de índice de velocidade de emergência (IVE), emergência (EMERG), comprimento de parte aérea (CPA), comprimento radicular (CR), número de raízes seminais (NR), peso seco da parte aérea (PSF) e peso seco de raízes (PSR), considerando-se todos os cruzamentos em que foram obtidos híbridos e recíprocos.

Genitor	IVE	EMER	CPA	CR	NR	PSF	PSR
$\hat{f}_{75 \times 91}$	-0,176	0,131	-0,123	-2,029*	0,244	-0,001	-0,002
$\hat{f}_{31 \times 91}$	-0,064	-2,198	0,088	0,566	-0,508	-0,002	-0,003
$\hat{f}_{57 \times 91}$	0,109	0,703	0,161	0,746	-0,191	-0,001	-0,002
$\hat{f}_{24 \times 91}$	-0,319	-3,387*	-0,444	-1,201	-0,132	-0,002	-0,003
$\hat{f}_{75 \times 63}$	-0,603*	-4,492*	0,051	-0,750	-0,408	-0,001	-0,001
$\hat{f}_{31 \times 63}$	-0,180	0,229	-0,318	0,200	0,135	-0,001	0,000
$\hat{f}_{57 \times 63}$	-0,070	-2,747*	0,567	-0,227	0,646	0,000	0,001
$\hat{f}_{24 \times 63}$	0,010	-0,960	0,107	0,343	-0,009	0,002	0,000
$\hat{f}_{75 \times 37}$	0,217	1,014	-0,268	1,420	0,023	0,000	0,001
$\hat{f}_{31 \times 37}$	0,217	0,746	-0,157	0,523	0,882	0,002	0,001
$\hat{f}_{57 \times 37}$	0,105	0,114	0,594	0,875	0,136	0,001	0,006
$\hat{f}_{24 \times 37}$	0,044	-1,031	0,058	-0,472	0,089	0,002	0,002
$\hat{f}_{75 \times 32}$	0,174	1,691	-0,103	-0,762	-0,282	0,000	-0,002
$\hat{f}_{31 \times 32}$	0,378	1,701	-0,055	0,440	-0,139	0,001	0,001
$\hat{f}_{57 \times 32}$	-0,236	1,080	-0,253	-0,738	0,130	-0,001	-0,002
$\hat{f}_{24 \times 32}$	-0,371	-0,666	-0,150	0,394	-0,367	-0,002	-0,001

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

O efeito do recíproco também foi avaliado por meio da fórmula descrita em Menezes et al. (2009), a qual leva em consideração as médias observadas para cada combinação híbrida e recíproca. Para essa avaliação, foram considerados também os dados obtidos no teste de envelhecimento acelerado (EA). Observou-se que, para grande parte das combinações híbridas, houve efeito recíproco significativo (TABELA 8). De acordo com Ramalho et al. (2012), a significância do efeito recíproco indica que há efeito materno.

Em geral, houve efeito recíproco significativo, para todas as características avaliadas, para a qualidade fisiológica de sementes. No entanto maiores estimativas foram observadas para EA, EMERG, PSF e PSR. O efeito recíproco, para qualidade fisiológica de sementes, foi demonstrado no trabalho de

Jose et al. (2005), onde houve diferenças acentuadas nos valores de germinação entre híbridos e recíprocos. Além disso, o efeito recíproco também foi demonstrado, para densidade de raízes laterais, no trabalho de Hoecker et al. (2006), em três das seis combinações hídras avaliadas.

Para o híbrido H91x57, houve efeito recíproco significativo e negativo, para todas as características avaliadas, exceto para IVE. Portanto a linhagem L91, quando utilizada como parental feminino em cruzamento com a linhagem L57, expressou efeito materno e, conseqüentemente, houve um aumento considerável na média observada nessas características.

Tabela 8 - Efeito recíproco para as características de envelhecimento acelerado (EA), índice de velocidade de emergência (IVE), emergência (EMERG), comprimento de parte aérea (CPA), comprimento radicular (CR), número de raízes seminais (NR), peso seco da parte aérea (PSF) e peso seco de raízes (PSR), considerando-se todos os cruzamentos em que foram obtidos híbridos e recíprocos.

Genótipo (ij)	EA	IVE	EMERG	CPA	CR	NR	PSF	PSR
H91x75	-0,75	-0,05	-0,50	0,95*	0,40	-0,10	2,45*	9,50*
H91x31	-1,25	-0,55*	-0,50	0,10	-2,55*	0,10	-0,50	-3,10
H91x57	-9,25*	-0,25	-4,50*	-0,75*	-1,40*	-0,35*	-5,10*	-7,00*
H91x24	-2,25	-0,10	-2,50	0,25	0,05	-0,80*	-2,95*	-7,10*
H63x75	1,00	-0,15	0,50	-0,65*	-0,80	0,15	-0,20	-3,70
H63x31	0,25	0	0,50	-0,45	-0,10	-0,20	-0,75	-9,50*
H63x57	0,50	0,05	1,50	-0,60*	-0,40	-0,50*	-1,10	-3,95
H63x24	-1,00	-0,25	-2,00	-0,50	-0,55	-0,15	-3,35*	-5,75
H37x75	2	0,25	0	-0,45	0,05	0,05	-0,65	2,00
H37x31	-0,75	-0,60*	-5,5*	0,15	0	-0,05	-0,45	1,85
H37x57	0,25	-0,30	-0,50	-0,25	-0,05	0,05	1,15	0,45
H37x24	2,00	-0,40*	-1,50	-0,30	-0,20	0,15	-2,25	-0,95
H32x75	1,50	0,55*	2,50	-0,20	2,20*	0,25	-0,60	6,85*
H32x31	-1,75	0,25	-3,00*	0,80*	0,35	0,30	1,60	3,70
H32x57	4,75*	0,60*	4,00*	-0,20	0	0,15	-0,70	6,50*
H32x24	-3,50*	0,30	0	0,25	-0,05	0,20	3,00*	1,45

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade. **Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Essa tendência, também foi observada para o híbrido H32x57, como efeito recíproco negativo para as características EA, IVE, EMERG e PSR.

No cruzamento com a linhagem L24, a linhagem L91, ao ser utilizada como genitor paterno, proporcionou redução das médias em três testes avaliados (NR, PSF e PSR). No entanto, para o híbrido H91x75 nas características de CPA, PSF e PSR, observou-se efeito recíproco significativo e positivo, indicando que, de alguma forma, a linhagem L75 obtém um desempenho superior, quando utilizada como fêmea, em combinação com a L91.

O efeito materno, também foi observado para a linhagem L75, quando empregada como parental feminino no cruzamento com a linhagem L32, no qual houve efeito recíproco significativo e positivo. De maneira geral, as linhagens L24 e L32, quando utilizadas como genitores femininos, proporcionam uma redução nas médias em seus cruzamentos.

Na presente pesquisa, o estudo do controle genético e o desempenho de genótipos de milho por meio da qualidade fisiológica de sementes, mostrou-se uma técnica eficaz na caracterização precoce dos genótipos para tolerância ao estresse hídrico, principalmente em relação às avaliações realizadas em raízes.

Um dos objetivos do melhoramento de milho é a identificação de linhagens que possam participar de cruzamentos para a produção de híbridos com elevada produtividade. Nesse sentido, o estudo da heterose relacionada à qualidade fisiológica de sementes fornece informações importantes, na correta escolha dos genótipos, em um programa de melhoramento.

Além disso, o desdobramento do efeito recíproco é de fundamental importância, para o entendimento do controle genético da qualidade fisiológica de sementes, permitindo ao melhorista tomar decisões mais assertivas em relação a este caráter.

4 CONCLUSÕES

Há expressão da heterose para a tolerância ao estresse hídrico em sementes de milho, principalmente, para características de raiz.

No controle genético para a tolerância ao estresse hídrico em sementes de milho, os genes de efeito não aditivo são mais importantes para a maioria das características avaliadas.

Maiores estimativas de CGC são observadas, para as linhagens L91, L75 e L63, e maiores estimativas de CEC, para os híbridos H91X75, H91x24, H91x31 e H63x31.

Há efeito recíproco para a qualidade fisiológica de sementes, avaliada em condições de estresse hídrico, o que evidencia a importância da escolha dos genitores femininos para compor os cruzamentos.

REFERÊNCIAS

- ABDI, H.; WILLIAMS, L. J. Principal component analysis. **Computational Statistics**, Heidelberg, v. 2, n. 4, p. 433-459, 2010.
- ABREU, V. M. et al. Physiological performance and expression of isozymes in maize seeds subjected to water stress. **Journal of Seed Science**, Londrina, v. 36, n. 1, p. 040-047, 2014.
- ABREU, V. M. et al. Heat-resistant protein expression during germination of maize seeds under water stress. **Genetics and Molecular Research**, Ribeirão Preto, v. 15, n. 3, 2016.
- ANDRADE, T. **Controle genético e expressão de genes associados à qualidade fisiológica de sementes de milho**. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.
- BALESTRE, M. et al. Genotypic stability and adaptability in tropical maize based on AMMI and GGE biplot analysis. **Genetics and Molecular Research**, Ribeirão Preto, v. 8, n. 4, p. 1311-1322, 2009.
- BENJAMINI, Y.; HOCHBERG, Y. Controlling the false discovery rate: a practical and powerful approach to multiple testing. **Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)**, London, v. 57, n. 1, p. 289-300, 1995.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília, 2009. 399 p.
- CABRAL, P. D. S. et al. Genetic effects on seed quality in diallel crosses of popcorn. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 37, n. 6, p. 502-511, 2013.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 4. ed. Viçosa, MG: UFV, 2012. v. 1, 514 p.

DE SOUZA GUIMARAES, P. et al. Characterizing corn hybrids (*Zea mays* L) for water shortage by principal components analysis. **Maydica**, Bergamo v. 59, n. 1, p. 72-79, 2014.

DUARTE, J. B.; VENCOVSKY, R. **Interação Genótipos x Ambientes: Uma Introdução à Análise AMMI**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética. 1999. 60 p. (Série Monográfica, 9).

EDMEADES, G. O. **Progress in achieving and delivering drought tolerance in maize - An Update**, ISAAA: Ithaca, NY. 2013. 44 p.

EFRON, B. et al. Empirical Bayes analysis of a microarray experiment. **Journal of the American statistical association**, New York, v. 96, n. 456, p. 1151-1160, 2001.

EFRON, B.; TIBSHIRANI, R. On testing the significance of sets of genes. **The Annals of Applied Statistics**, [S.l.], p. 107-129, 2007.

FALCONER, D. S; MACKAY, T. F. C. **Introduction to quantitative genetics**. 4th ed. Harlow: Essex:Longman, 1996. 480 p.

GOMES, M. S. et al. Efeito da heterose na qualidade fisiológica de sementes de milho. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 22, n. 1, p. 7-17, 2000a.

GOMES, M. S. et al. Estimativas da capacidade de combinação de linhagens de milho tropical para qualidade fisiológica de sementes. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 24, p. 41-49, 2000b.

GRIFFING, B. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. **Australian Journal of Biological Sciences**, Melbourne, v. 9, p. 462-493, 1956.

HALLAUER, A. R.; CARENA, M. J.; MIRANDA FILHO, J. B. **Quantitative Genetics in Maize Breeding**. 3rd ed. Berlin: Springer-Verlag, 2010. 500 p.

HOECKER, N. et al. Manifestation of heterosis during early maize (*Zea mays* L.) root development. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 112, n. 3, p. 421-429, Feb. 2006.

JOSÉ, S. C. B. R. et al. Padrão eletroforético de proteínas resistentes ao calor em sementes de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 2, p. 115-121, 2005.

KRANNER, I. et al. What is stress? Concepts, definitions and applications in seed science. **New Phytologist**, Cambridge, v. 188, p. 655-673, 2010.

LI, R. et al. Genetic variation for maize root architecture in response to drought stress at the seedling stage. **Breeding Science**, Tokyo, v. 65, n. 4, p. 298, 2015.

LISAR, S. Y. S.; MOTAFAKKERAZAD, R.; HOSSAIN, M. M. Water stress in plants: causes, effects and responses. In: RAHMAN, I. MD. M.; HASEGAWA, H. (Ed.) **Water stress**, Intech, 2012. p. 1-14.

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

MAGUIRE, J. D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, Madison, v. 2, n. 1, p. 176-177, Jan./Feb. 1962.

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, 2011.

MEEKS, M. et al. Measuring maize seedling drought response in search of tolerant germplasm. **Agronomy**, Basel, v. 3, p. 135-147, 2013.

MENEZES, C. B. et al. Adaptabilidade e estabilidade de linhagens de sorgo em ambientes com e sem restrição hídrica. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 14, n. 1, p. 101-115, 2015.

MENEZES, M. de et al. Aspectos químicos e estruturais da qualidade fisiológica de sementes de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 12, p. 1716-1723, 2009.

MEYER, S.; POSPISIL, H.; SCHOLTEN, S. Heterosis associated gene expression in maize embryos 6 days after fertilization exhibits additive,

dominant and overdominant pattern. **Plant Molecular Biology**, Dordrecht, v. 63, n. 3, p. 381-391, 2007.

MOTERLE, L. M. et al. Combining ability of tropical maize lines for seed quality and agronomic traits. **Genetics and Molecular Research**, Ribeirão Preto, v. 10, n. 3, p. 2268-2278, 2011.

OLIVEIRA, G. E. et al. Qualidade fisiológica e expressão das enzimas amilases em sementes de milho. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 37, p. 40-48, 2013.

OLIVEIRA, G. E. et al. Relationship among physiological quality, heterosis, and amylase gene expression in maize seeds. **Genetics and Molecular Research**, Ribeirão Preto, v. 14, n. 3, p. 8623-8633, 2015.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2015

REBOLLEDO, M. C. et al. Phenotypic and genetic dissection of component traits for early vigor in rice using plant growth modelling, sugar content analyses and association mapping. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 66, n. 18, p. 5555-5566, 2015.

ROY, S. J.; TUCKER, E. T.; TESTER, M. Genetic analysis of abiotic stress tolerance in crops. **Current Opinion in Plant Biology**, Glen Osmond, v. 14, p. 232-239, 2011.

SAS INSTITUTE. SAS/STAT User's guide. Cary, N. C.: SAS Institute, 2000. 584 p.

SCOTT, A.; KNOTT, M. Cluster-analysis method for grouping means in analysis of variance. **Biometrics**, Washington D.C., v.30, n.3, p.507-512, 1974.

SHAO, H. et al. Water-deficit stress induced anatomical changes in higher plants. **Comptes Rendus Biologies**, Paris, v. 331, p. 215-225, 2008.

SHARP, R. E. et al. Root growth maintenance during water deficits: physiology to functional genomics. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 55, n. 407, p. 2343-2351, 2004.

SILVA-NETA, I. C. et al. Expression of genes related to tolerance to low temperature for maize seed germination. **Genetics and Molecular Research**, Ribeirão Preto, v. 14, n. 1, p. 2674-2690, 2015.

TRACHSEL, S. et al. QTLs for early vigor of tropical maize. **Molecular Breeding**, Dordrecht, v. 25, n. 1, p. 91-103, 2010.

CAPÍTULO 3

ESTRATÉGIAS PARA A SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE MILHO TOLERANTES AO ESTRESSE HÍDRICO NAS FASES DE GERMINAÇÃO E EMERGÊNCIA DE PLÂNTULAS

RESUMO

A obtenção de genótipos produtivos e tolerantes ao estresse hídrico tem sido um desafio para os programas de melhoramento de milho. O objetivo neste trabalho foi avaliar estratégias para seleção de genótipos de milho, além do desempenho destes genótipos submetidos ao estresse hídrico nas fases de germinação e emergência de plântulas. Foi instalado um campo, para a produção de sementes híbridas, incluindo os recíprocos, utilizando-se o sistema dialelo parcial, mais as oito linhagens genitoras (L91, L63, L37, L32 – grupo 1 (tolerantes); L75, L31, L57 e L24 – grupo 2 (não tolerantes)) previamente classificadas quanto à tolerância ao estresse hídrico. As sementes foram germinadas em bandejas contendo substrato areia, em dois ambientes, sendo o primeiro denominado de ambiente sem estresse, no qual a umidade do substrato foi ajustada para 70% capacidade de retenção de água e, no segundo, denominado ambiente com estresse, a capacidade de retenção de água foi de 10%. Foram avaliados a emergência de plântulas, o índice de velocidade de emergência (IVE), o comprimento de parte aérea (CPA), o comprimento radicular (CR), o número de raízes seminais (NR), o peso seco da parte aérea (PSF) e o peso seco de raízes (PSR). O desempenho dos genótipos em relação ao estresse hídrico, foi avaliado, por meio da análise de componentes principais (PCA), índice de seleção de genótipos em relação à tolerância ao estresse hídrico (IS), índice Z e gráfico de classificação quanto à tolerância e responsividade. O índice de seleção (IS) é eficiente na discriminação dos genótipos de milho quanto à tolerância ao estresse hídrico por meio da característica NR. O método gráfico de classificação quanto à tolerância e responsividade ao estresse hídrico, o índice Z e a PCA possibilitam selecionar genótipos superiores quanto à tolerância ao estresse hídrico nas fases de germinação e emergência de plântulas. Os genótipos L91, L75, H91x75, R75x91, R57x91, R31x63, R31x91 e R24x91 mostraram-se os mais promissores quanto à tolerância ao estresse hídrico na germinação

Palavras-chave: *Zea mays*. Desempenho de genótipos. Vigor de sementes.

ABSTRACT

Obtaining productive and tolerant genotypes to various abiotic stress types has been one of the biggest challenges for breeding programs. This research aims to evaluate strategies to select maize genotypes, in addition to the performance of these genotypes submitted to water stress on germination and seedling emergence phases. A field was installed to obtain hybrid seeds, including reciprocal hybrid, using partial diallel design, further eight progenitors inbred line (L91, L63, L37, L32 – group 1 (tolerant); L75, L31, L57 e L24 – group 2 (non-tolerant)), previous characterized in relation to water stress. All seed genotypes were germinated in trays with sand, in two environments. The first, called “without stress environment”, had its field capacity adjusted to 70%, and the second, was called “stress environment”, with field capacity of 10%. It was assessed the seedling emergence, emergence speed index (IVE), shoot length (CPA), root length (CR), number of seminal roots (NR), shoot dry weight (PSF) and roots dry weight (PSR). The genotype performance regarding to water deficit was assessed by principal components analyzes, selection index regarding to water stress tolerance (IS), Z index, and classification graphic as tolerance and responsiveness. The selection index is efficient to separate maize genotypes regarding water deficit tolerance by NR characteristic. Classification graphic regarding tolerance and responsiveness methods, Z index and principal components analyzes allows the selection of superior genotypes regarding water deficit tolerance on germination and seedlings emergence phases. L91, L75, H91x75, R75x91, R57x91, R31x63, R31x91 e R24x91 genotypes shown to be the most promising for water deficit tolerance on germination

Keywords: *Zea mays*. Genotypes performance. Seed vigor.

1 INTRODUÇÃO

Dentre as estratégias de adequação às mudanças climáticas, o desenvolvimento de cultivares tolerantes ao estresse hídrico é fundamental para o desenvolvimento da produção agrícola nacional. Na cultura do milho, a redução da produção em razão da deficiência hídrica vem sendo observada, principalmente, para a segunda safra, a exemplo da redução de 24,7% observada na safra 2015/2016 (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2016).

Assim, a identificação e o estudo da variação natural em bancos de germoplasma podem contribuir para o melhoramento visando à obtenção de novas cultivares tolerantes ao estresse (BLUM et al., 2011). No entanto a obtenção de genótipos produtivos e tolerantes a diversos tipos de estresses abióticos tem sido um desafio para os programas de melhoramento (DURÃES et al., 2005), uma vez que essa tolerância é controlada por características tipicamente quantitativas complexas altamente influenciadas pela interação genótipos por ambientes (ROY; TUCKER; TESTER, 2011).

De acordo com Parentoni et al. (2001), um programa de melhoramento, voltado para a tolerância ao estresse hídrico, deve ter como objetivo a identificação dos genótipos mais produtivos em condições de estresse, mas que também, respondam à melhoria do ambiente.

A identificação de caracteres que estejam diretamente relacionados à tolerância ao estresse é fundamental para o sucesso dos programas de melhoramento. Assim, na obtenção de genótipos superiores, a avaliação de diversas características permite a inferência de sua superioridade relativa com boa precisão (GUEDES et al., 2015), e o uso de índices de seleção se faz uma ferramenta eficiente na escolha de genótipos superiores por meio unificação dessas informações (LAMBERT et al., 2006).

Nesse sentido, a avaliação da qualidade fisiológica de sementes deve ser considerada em programas de melhoramento genético, visando à tolerância ao estresse hídrico, uma vez que exige menor tempo e espaço, é relativamente de fácil e rápida avaliação, e pode ser repetida várias vezes ao longo do ano (MEEKS et al. 2013; PACE et al., 2014).

Diante do exposto, o objetivo neste trabalho foi avaliar estratégias para seleção de genótipos de milho, além do desempenho destes genótipos submetidos ao estresse hídrico nas fases de germinação e emergência de plântulas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos no Laboratório Central de Sementes e na área experimental do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras (UFLA), em Lavras-MG.

Inicialmente, para a escolha dos genótipos discrepantes quanto à tolerância ao estresse hídrico, durante a germinação, foram utilizadas sementes de 26 linhagens do programa de melhoramento de milho da empresa Geneseeds Recursos Genéticos Ltda., as quais foram colocados para germinar em caixas tipo gerbox, contendo substrato composto com terra e areia, na proporção 2:1, acondicionado em câmaras do tipo BOD, à temperatura de 25°C. Como forma de imposição do estresse hídrico, a capacidade de retenção de água do substrato escolhida, por meio de pré-teste (dados não apresentados) foi de 10% e a reposição de água foi feita diariamente, com base no peso inicial de cada gerbox.

Foram avaliados aos sete dias a emergência final, o comprimento da parte aérea, o comprimento total das raízes e o número de raízes secundárias das plântulas de milho (dados não apresentados). Após a avaliação inicial, foram escolhidas oito linhagens contrastantes em relação à tolerância ao estresse hídrico em plântulas, classificadas em dois grupos, sendo as linhagens L91, L63, L37 e L32 consideradas tolerantes e as linhagens L75, L31, L57 e L24 consideradas não tolerantes ao estresse hídrico durante a germinação.

2.1 Obtenção dos cruzamentos dialélicos

Os cruzamentos foram realizados em esquema de dialelo parcial entre as quatro linhagens tolerantes (grupo 1) e as quatro linhagens não tolerantes (grupo 2) ao estresse hídrico. (QUADRO 1).

Quadro 1 - Descrição das linhagens de milho utilizadas no dialelo parcial.

Linhagens	Ciclo	Grão	Porte
L91	Normal	Dente / Alaranjado	Alto
L63	Precoce	Duro / Avermelhado	Médio
L37	Precoce	Duro / Amarelado	Médio
L32	Normal	Semiduro / Avermelhado	Baixo
L75	Super precoce	Duro / Avermelhado	Médio
L31	Precoce	Duro / Avermelhado	Baixo
L57	Precoce	Dente / Amarelo	Médio
L24	Super precoce	Dente / Amarelado	Médio

A semeadura de cada linhagem foi realizada em parcelas de 10 linhas de 6m, espaçadas 0,80m entre linhas e 0,20m entre plantas. A semeadura foi realizada ao longo de dez dias, para garantir coincidência do florescimento entre os grupos de linhagens. Todos os tratamentos culturais e fitossanitários foram realizados de acordo com os recomendados para a cultura.

Durante o florescimento, as espigas foram protegidas com sacos plásticos, antes da emissão dos estilo-estigmas. Quando houve receptividade dos estilo-estigmas, os pendões das plantas doadoras de pólen foram cobertos com saco de papel, para evitar a contaminação genética e, no dia seguinte, foi realizado o cruzamento, sendo as linhagens de cada grupo utilizadas ora como parental feminino, ora como parental masculino. Assim, foram obtidos 16 híbridos simples e 16 recíprocos.

Os cruzamentos foram realizados na área experimental do Departamento de Agricultura da UFLA, no ano agrícola de 2013/2014. Simultaneamente, foi instalado um experimento para multiplicação das sementes das oito linhagens para que, assim, fossem produzidas nas mesmas condições ambientais das sementes híbridas. As sementes das linhagens foram obtidas por meio de autofecundações controladas.

As espigas provenientes das autofecundações das linhagens e dos cruzamentos foram colhidas, manualmente, secadas em secador de espigas a 35°C até atingirem o teor de água de 13% e, posteriormente, debulhadas manualmente. As sementes foram separadas quanto ao tamanho em peneiras de crivos circulares e foram utilizadas as sementes que ficaram retidas nas peneiras 19/64 e 20/64. As sementes foram tratadas com o fungicida VITAVAX-THIRAM 200, na dosagem de 300 ml por 100 kg de sementes e armazenadas em câmara fria a 10°C até o momento das análises fisiológicas.

2.2 Avaliação da qualidade fisiológica de sementes submetidas ao estresse hídrico

As sementes das oito linhagens, dos 16 híbridos simples e de seus recíprocos, foram avaliadas em duas condições quanto à disponibilidade de água. Na primeira condição, denominada ambiente sem estresse, a umidade do substrato foi ajustada para 70% da capacidade de retenção de água e, na segunda condição, denominada ambiente de estresse, a umidade foi ajustada para capacidade de retenção de água de 10%. Em cada condição, 25 sementes de cada genótipo foram colocadas para germinar em câmara de crescimento a 25°C, em bandejas contendo substrato areia. Em ambas as condições, a reposição da água foi feita, diariamente, com base no peso inicial de cada bandeja. Foi adotado o delineamento inteiramente casualizado (DIC) com quatro repetições. Após sete dias, as plântulas foram retiradas das bandejas e lavadas em água corrente.

Foram avaliadas as seguintes características:

- a) Índice de velocidade de emergência (IVE): número de plântulas emergidas por dia, realizado em conjunto com o teste de emergência, determinada pela fórmula proposta por Maguire (1962).
- b) Emergência de plântulas (EMERG): porcentagem de plântulas emergidas ao sétimo dia após a semeadura.
- c) Comprimento de parte aérea (CPA): comprimento médio da parte aérea das plântulas emergidas. Os resultados foram expressos em centímetros (cm) por plântula.
- d) Comprimento radicular (CR): comprimento médio da raiz principal das plântulas emergidas. Os resultados foram expressos em centímetros (cm) por plântula.
- e) Número de raízes seminais (NR): número total de raízes seminais das plântulas emergidas. Os resultados foram expressos em número médio de raízes seminais por plântula.
- f) Peso seco de parte aérea (PSF): média do peso seco da parte aérea das plântulas emergidas. Os resultados foram expressos em miligramas por plântula.
- g) Peso seco de raiz (PSR): média do peso seco das raízes totais das plântulas emergidas. Os resultados foram expressos em miligramas por plântula.

As médias de vigor das sementes dos genótipos foram agrupadas por ambiente e entre os ambientes, utilizando a metodologia proposta por Scott e Knott (1974), sendo as médias das linhagens e dos híbridos analisadas separadamente. Para isso, utilizou-se o programa estatístico R (R CORE TEAM, 2015).

Também foi obtida a correlação de Spearman entre os ambientes individuais e nas médias dos ambientes, para todas as características, e também

entre as características para os ambientes avaliados, por meio do programa estatístico R (R CORE TEAM, 2015).

2.3 Análise de Componentes Principais

A relação entre as características e os genótipos foi estudada, por meio de uma análise multivariada de componentes principais (PCA), segundo metodologia descrita em Abdi e Williams (2010). Inicialmente, os dados foram padronizados para que as características fossem colocadas na mesma escala de variação. Assim, apesar de serem medidas em diferentes unidades, as características tiveram o mesmo peso na análise, pois foram transformadas para ter uma variância comum. A análise de componentes principais foi realizada utilizando a função “prcomp” do pacote “stats” do software R (R CORE TEAM, 2015). Para facilitar a interpretação dos resultados, foi construído um gráfico, contendo os dois primeiros componentes principais (PC1 e PC2) utilizando a função “biplot” do mesmo pacote estatístico.

2.4 Índice de seleção de genótipos em relação à tolerância ao estresse hídrico

A identificação de genótipos superiores em relação ao estresse hídrico e que, também responda à melhoria do ambiente, foi realizada por meio do seguinte índice de seleção, citado por Lambert, et al (2006):

$$IS = \frac{(Me_i \times Ma_i)}{(Me \times Ma)}$$

em que:

Me_i = média do genótipo i nos ambientes com estresse;

Ma_i = média do genótipo i nos ambientes sem estresse.

Me = média de todos os genótipos sob condições de estresse.

Ma = média de todos os genótipos na ausência de estresse.

O índice foi calculado, separadamente, para linhagens e híbridos e, posteriormente, submetido à análise de variância. As médias foram agrupadas por ambiente e, nas médias dos ambientes, por meio da metodologia proposta por Scott e Knott (1974). Para isso, utilizou-se o programa estatístico R (R CORE TEAM, 2015).

2.5 Índice da soma das variáveis padronizadas - Índice Z

Com o objetivo de selecionar genótipos superiores, para todas as características avaliadas, simultaneamente, foi obtido o índice Z proposto por Mendes, Ramalho e Abreu (2009), por ambiente e nas médias dos ambientes. Primeiramente, foi realizada padronização dos dados, para linhagens e híbridos F1, separadamente, para cada característica de acordo com a expressão:

$$z_{ik} = \frac{y_{ik} - \bar{y}_{.k}}{s_{.k}}$$

em que:

z_{ik} = valor fenotípico padronizado do genótipo i para a característica k .

y_{ik} = valor fenotípico observado do genótipo i para a característica k .

$\bar{y}_{.k}$ = média fenotípica do genótipo i para a característica k .

$s_{.k}$ = desvio padrão fenotípico associado ao genótipo i para a característica k .

O índice Z foi obtido pelo do somatório dos valores de z_{ik} de cada característica, sendo:

$$Z_i = \sum_{k=1}^7 z_{ik} = z_{i1} + z_{i2} + \dots + z_{i7}$$

Para a análise de variância, os valores do índice Z foram acrescidos de uma constante correspondente ao menor valor observado e agrupados pelo teste de Scott-Knott (1974) a 5% de probabilidade. A eficiência do índice Z em selecionar genótipos superiores para múltiplas características, simultaneamente, foi avaliada observando as performances das progênies selecionadas, considerando cada característica separadamente. Para isso, os valores padronizados z_{ik} dos genótipos mais discrepantes foram utilizados, na construção de gráficos do tipo “bola cheia” e “bola murcha”, como proposto por Nunes, Ramalho e Abreu (2005). Os gráficos foram construídos com sete eixos, sendo cada eixo representando uma característica. Os genótipos “bola cheia” possuem valores acima da média, para a maioria das características, e os genótipos “bola murcha” possuem valores abaixo da média da população.

2.6 Gráfico de classificação dos genótipos quanto à tolerância e à responsividade ao estresse hídrico

Utilizando os dados obtidos nas avaliações da qualidade fisiológica de sementes e desempenho das plântulas, foi construído um gráfico de dispersão para classificação dos genótipos quanto à resposta ao estresse hídrico. Nesse gráfico, o eixo X corresponde à média observada, para a característica em ambiente sem estresse e o eixo Y a média em condições de estresse. Assim, duas retas cortam os eixos X e Y na média geral dos ambientes, classificando os genótipos em quatro grupos, de acordo com o quadrante em que foram alocados (adaptado de FAGERIA; KLUTHCOUSKI, 1980).

- 1° Quadrante: corresponde aos genótipos tolerantes ao estresse e responsivos à melhoria do ambiente. Possuem desempenho superior em ambas as condições.
- 2° Quadrante: corresponde aos genótipos tolerantes e não responsivos. Seu desempenho é, relativamente, mais elevado apenas em condições de estresse, porém fica abaixo da média com a melhoria do ambiente.
- 3° Quadrante: formado pelos genótipos não tolerantes e não responsivos, pois seu desempenho é abaixo da média nas duas condições ambientais.
- 4° Quadrante: são os genótipos não tolerantes e responsivos, pois obtiveram média, relativamente, baixa em condições de estresse, mas aumentam sua média com a melhoria das condições ambientais.

Foram construídos, separadamente, gráficos de dispersão para todas as características de qualidade fisiológica de sementes e desempenho das plântulas avaliadas (dados não apresentados), e um gráfico de dispersão com os valores obtidos por meio do índice Z.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os coeficientes de correlação de Spearman entre os ambientes e a análise conjunta deles, para todas as características avaliadas estão apresentados na Tabela 9. De maneira geral, houve altos valores de correlação entre os ambientes, especialmente, para análise conjunta. Entretanto, para as características emergência (0,40), observou-se baixa correlação entre os ambientes sem e com estresse, indicando o diferente comportamento dos genótipos nesses ambientes.

Tabela 9 - Estimativas dos coeficientes de correlação de Spearman entre as médias observadas no ambiente controle, estresse e na média conjunta dos ambientes para as características de índice de velocidade de emergência (IVE), emergência (EMERG), comprimento de parte aérea (CPA), comprimento radicular (CR), número de raízes seminais (NR), peso seco da parte aérea (PSF) e peso seco de raízes (PSR).

	Sem estresse	Com Estresse	Conjunta
IVE acima da diagonal e emergência abaixo da diagonal			
Sem Estresse		0,71*	0,96*
Com Estresse	0,40*		0,85*
Conjunta	0,87*	0,74*	
CPA acima da diagonal e CR abaixo da diagonal			
Sem estresse		0,62*	0,84*
Com Estresse	0,75*		0,73*
Conjunta	0,94*	0,92*	
NR acima da diagonal e PSF abaixo da diagonal			
Sem estresse		0,93*	0,98*
Com Estresse	0,57*		0,98*
Conjunta	0,92*	0,83*	
PSR acima da diagonal			
Sem estresse		0,59*	0,78*
Com Estresse			0,93*

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Para a correlação entre as características (TABELA 10), não foram observadas correlações negativas significativas entre as variáveis.

Tabela 10 - Estimativas dos coeficientes de correlação de Spearman entre as características de índice de velocidade de emergência (IVE), emergência (EMERG), comprimento de parte aérea (CPA), comprimento radicular (CR), número de raízes seminais (NR), peso seco da parte aérea (PSF) e peso seco de raízes (PSR) para os ambientes controle, estresse e na média conjunta dos ambientes.

	IVE	EMER	CPA	CR	NR	PSF	PSR
Sem estresse acima da diagonal e com estresse abaixo da diagonal							
IVE		0,81*	0,42*	0,64*	-0,01 ^{ns}	0,44*	0,62*
EMER	0,71*		0,30*	0,51*	0,09 ^{ns}	0,39*	0,53*
CPA	0,49*	0,14 ^{ns}		0,45*	0,26 ^{ns}	0,70*	0,16 ^{ns}
CR	0,38*	0,01 ^{ns}	0,25 ^{ns}		0,06 ^{ns}	0,57*	0,38*
NR	0,07 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,26 ^{ns}	0,12 ^{ns}		-0,06 ^{ns}	-0,26 ^{ns}
PSF	0,59*	0,31*	0,64*	0,16 ^{ns}	-0,19 ^{ns}		0,40*
PSR	0,59*	0,47*	0,39*	0,41*	0,20 ^{ns}	0,49*	
Análise conjunta de ambientes acima da diagonal							
IVE		0,80*	0,35*	0,58*	0,06 ^{ns}	0,55*	0,67*
EMER			0,19 ^{ns}	0,35*	0,07 ^{ns}	0,40*	0,49*
CPA				0,35*	0,36*	0,54*	0,31 ^{ns}
CR					0,11 ^{ns}	0,46*	0,50*
NR						-0,13 ^{ns}	-0,01 ^{ns}
PSF							0,65*

^{ns}Não significativo. *Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Observou-se que tanto para o ambiente sem estresse quanto para o ambiente com estresse, não foram encontradas correlações significativas entre número de raízes seminais (NR) e as demais características. Além disso, observaram-se altos valores de correlação entre emergência e índice de velocidade de emergência (IVE), e entre comprimento de parte aérea (CPA) e peso seco de parte aérea (PSF), o que já era esperado pela natureza de avaliação destes dados. Esses resultados discordam dos encontrados por Ávila, Braccini e Scapim (2007),

em que houve uma correlação significativa e positiva entre a emergência em campo e o comprimento de plântulas de milho sob estresse hídrico.

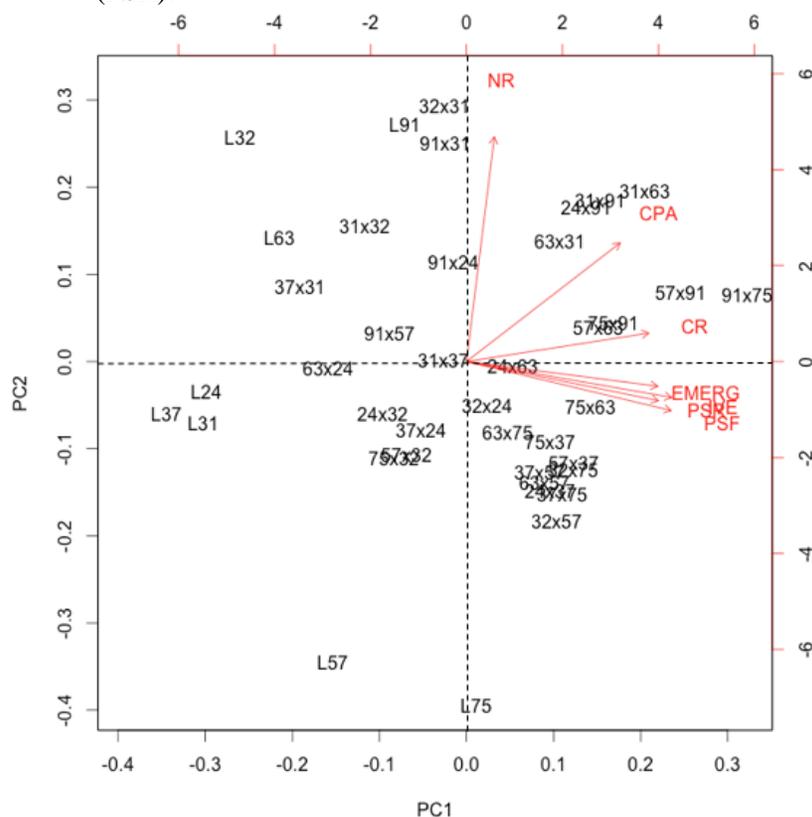
Além disso, para o teste de emergência, observou-se boa correlação com CR (0,51) e PSR (0,53) no ambiente sem estresse e PSR (0,47) no ambiente com estresse. No entanto para o ambiente com estresse, não foi encontrada correlação significativa entre emergência e CPA (0,14) e CR (0,01), além da baixa correlação entre emergência e PSF (0,31) e PSR (0,47), o que pode indicar que o teste de emergência não é adequado para identificação de plântulas com tolerância ao déficit hídrico. Em resultados encontrados por Cabral et al. (2013), foi verificada a correlação entre matéria seca de plântulas e emergência em campo de 0,458.

Para a análise conjunta dos ambientes, houve correlação positiva significativa para NR e CPA. Para emergência não houve correlação significativa com CPA.

A correlação positiva entre características avaliadas em condições ideais de disponibilidade de água e em ambientes com estresse hídrico, tem sido relatada, em alguns trabalhos, tal como a produtividade de grãos (KISSOUDIS et al., 2016). Cooper et al. (2014) observaram que é possível obter ganhos genéticos em produtividade, avaliando-se tanto em ambientes favoráveis, nos quais se permitem a máxima expressão do caráter, quanto em condições de estresse hídrico, em que a produção potencial é reduzida pelo impacto do estresse hídrico em diferentes estádios de desenvolvimento da planta.

A relação entre as características de sementes e plântulas e os genótipos, avaliada por meio da análise multivariada de componentes principais (PCA), está apresentada no Gráfico 9. Observou-se que as características de emergência, IVE, PSF e PSR, e NR e CPA estão altamente relacionadas entre si, pela proximidade dos pontos no gráfico. Além disso, não houve correlações negativas entre as características avaliadas.

Gráfico 9 - Análise multivariada de componentes principais (PCA) entre os genótipos de milho e as características de índice de velocidade de emergência (IVE), emergência (EMERG), comprimento de parte aérea (CPA), comprimento radicular (CR), número de raízes seminais (NR), peso seco da parte aérea (PSF) e peso seco de raízes (PSR).



Esses resultados correlacionam-se com aqueles observados nos dados de correlação linear de Spearman (TABELA 10).

De maneira geral, observou-se melhor desempenho para os genótipos H91x75, H63x31, R57x91, R31x63, R31x91, R24x91, R75x91 e R57x63, uma vez que possuem escores positivos e foram os mais diferenciados, em função das características, com vetores apontados para uma direção comum. Para a

característica NR, os genótipos L91, H32x31 e H91x31 foram os mais relacionados.

As linhagens L24, L37, L31 e L57 e os genótipos H37x24, R24x32, R57x32 e R75x32 não puderam ser discriminados pelas características por estarem em direção oposta aos seus vetores. De acordo com Dolatabad et al. (2010), o uso de biplot genótipos x características pode ser útil na comparação de cultivares e na seleção daquelas melhores relacionadas à determinada variável.

O índice de seleção dos genótipos, em relação à tolerância ao estresse hídrico, está disponível na Tabela 11.

Levando-se em consideração todas as características avaliadas, as linhagens L91 e L75 e os híbridos H91x75 e H57x91 foram os genótipos que mais se destacaram.

Tabela 11 - Índice de seleção dos genótipos de milho em relação à tolerância ao estresse hídrico para as características de índice de velocidade de emergência (IVE), emergência (EMER), comprimento de parte aérea (CPA), comprimento radicular (CR), número de raízes seminais (NR), peso seco da parte aérea (PSF) e peso seco de raízes (PSR).

Genótipo	IVE	EMER	CPA	CR	NR	PSF	PSR
L91	1,18 a	1.19 a	1,23 b	1,13 b	2,36 a	0,97 c	0,74 d
L63	1,03 a	0.97 b	1,07 b	1,12 b	1,69 c	0,97 c	0,64 d
L37	0,96 b	0.94 b	0,86 d	0,76 d	1,05 e	0,88 c	0,66 d
L32	0,76 b	0.91 b	0,71 d	1,16 b	1,85 c	0,66 d	1,27 c
L75	1,19 a	1.10 a	1,21 b	0,99 c	0,28 h	1,51 a	2,74 a
L31	0,87 b	0.91 b	1,08 b	0,80 d	0,79 g	1,01 c	0,77 d
L57	1,08 a	0.97 b	0,99 c	0,95 c	0,39 h	1,34 a	1,34 c
L24	0,91 b	0.97 b	0,87 d	1,08 b	0,51 h	0,75 d	0,42 d
H91x75	1,09 a	1.01 a	1,38 a	1,30 a	1,01 f	1,44 a	1,93 b
H91x31	0,90 b	1.00 a	1,01 c	0,71 d	2,01 b	0,92 c	0,79 d
H91x57	0,95 b	0.87 b	0,93 c	1,0 c	0,93 f	0,78 d	0,71 d
H91x24	0,96 b	0.91 b	1,04 c	1,33 a	0,97 f	0,72 d	0,59 d
H63x75	0,93 b	1.02 a	0,99 c	0,87 c	0,71 g	1,19 b	0,62 d
H63x31	1,02 a	1.02 a	1,19 b	0,94 c	1,24 e	0,97 c	1,03 c

“Tabela 11, conclusão”

H63x57	1,08	a	1.06	a	0,99	c	0,98	c	0,62	g	1,12	b	0,96	c
H63x24	0,82	b	0.88	b	0,93	c	0,87	c	0,78	g	0,80	d	0,49	d
H37x75	1,27	a	1.05	a	0,92	c	0,92	c	0,78	g	1,03	c	1,21	c
H37x31	0,73	b	0.85	b	0,99	c	0,66	d	1,03	e	0,79	d	0,81	d
H37x57	1,01	a	1.04	a	0,94	c	0,87	c	0,77	g	1,18	b	1,14	c
H37x24	0,92	b	1.01	a	0,79	d	0,99	c	0,85	f	0,74	d	0,96	c
H32x75	1,19	a	1.06	a	0,78	d	1,28	a	0,89	f	0,86	d	1,19	c
H32x31	0,88	b	0.89	b	1,11	b	0,84	d	1,91	c	0,91	c	0,94	c
H32x57	1,13	a	1.07	a	0,8	d	1,02	c	0,73	g	0,89	c	1,53	b
H32x24	0,91	b	0.96	b	0,86	d	1,14	b	0,87	f	1,07	b	0,81	d
R75x91	1,12	a	1.03	a	1,11	b	1,25	a	1,08	e	1,17	b	1,17	c
R31x91	1,09	a	1.03	a	0,98	c	1,22	a	1,86	c	0,96	c	1,05	c
R57x91	1,16	a	1.05	a	1,17	b	1,28	a	1,22	e	1,33	a	1,25	c
R24x91	1,04	a	1.02	a	0,99	c	1,31	a	1,78	c	1,03	c	1,11	c
R75x63	1,09	a	1	a	1,24	b	1,05	b	0,63	g	1,26	b	0,89	d
R31x63	1,01	a	1.00	a	1,34	a	0,95	c	1,43	d	1,08	b	1,67	b
R57x63	1,04	a	1.01	a	1,20	b	1,05	b	0,99	f	1,27	b	1,32	c
R24x63	0,99	a	0.96	b	1,09	b	0,98	c	0,88	f	1,18	b	0,88	d
R75x37	1,09	a	1.05	a	1,04	c	0,93	c	0,73	g	1,08	b	1,05	c
R31x37	1,08	a	1.06	a	0,94	c	0,66	d	1,09	e	0,86	d	0,70	d
R57x37	1,22	a	1.06	a	1,01	c	0,88	c	0,75	g	1,03	c	1,10	c
R24x37	1,20	a	1.06	a	0,86	d	1,03	c	0,73	g	0,98	c	1,03	c
R75x32	0,82	b	0.97	b	0,85	d	0,85	d	0,71	g	0,94	c	0,67	d
R31x32	0,78	b	1.03	a	0,86	d	0,76	d	1,57	d	0,76	d	0,69	d
R57x32	0,75	b	0.9	b	0,87	d	1,02	c	0,63	g	0,92	c	0,97	c
R24x32	0,74	b	0.97	b	0,84	d	1,14	b	0,71	g	0,83	d	0,73	d

*Agrupamento de médias, pelo teste de Scott e Knott a 5% de probabilidade.

Observou-se pelo agrupamento das médias que pelas características de emergência e IVE só foi possível a separação dos genótipos quanto à tolerância ao estresse hídrico em duas classes (TABELA 11). Em relação à característica CPA, os genótipos com melhor índice de tolerância foram o híbrido H91x75 (1,38) e o recíproco R31x63 (1,34). De acordo com Rebolledo et al. (2015), o

vigor inicial das plântulas está diretamente relacionado ao rápido acúmulo de matéria seca na parte aérea, sendo o desenvolvimento foliar um bom indicativo de vigor no crescimento inicial da plântula. No entanto uma grande área foliar específica sob condições de estresse hídrico pode resultar em grandes perdas de água, e, conseqüentemente, na baixa eficiência foliar (TRACHSEL et al., 2010). Assim, caracteres das plantas que resultam na conservação da água podem ser benéficos em condições de estresse hídrico, tal como sistema radicular profundo (LOPES et al., 2011).

Para CR, destacaram-se os genótipos H91x24 (1,33), H91x75 (1,30), H32x75 (1,28), R75x91 (1,25), R31x91 (1,22), R57x91 (1,28) e R24x91 (1,31). No entanto NR foi a característica que permitiu mais discriminação entre os genótipos, totalizando-se em oito classes. Assim, para a L91, observou-se o maior valor para essa característica, com 2,36, seguido do híbrido H91x31, com 2,01.

As raízes são os primeiros órgãos a serem expostos em uma condição de estresse hídrico e, dessa forma, várias características fenotípicas do sistema radicular são consideradas importantes na manutenção do desenvolvimento da planta, sob condições de estresse (JANIÁK et al., 2015). Assim, características como o comprimento radicular e número de raízes seminais são fatores importantes a serem considerados na tolerância ao estresse hídrico (SHAO et al., 2008).

É válido ressaltar, ainda, o efeito materno observado para a linhagem L91, em relação a característica comprimento radicular, para todos os recíprocos nos quais essa linhagem foi empregada como genitor feminino.

De acordo com Parentoni et al. (2001), o índice de seleção de genótipos, em relação ao estresse hídrico, é um dos mais indicados para condições de cultivo adversas, uma vez que ele seleciona cultivares com médias altas nos dois níveis ambientais.

As estimativas para o Índice Z dos ambientes com e sem estresse, bem como para a análise conjunta dos ambientes, estão disponíveis na Tabela 12. Observou-se o bom desempenho das linhagens L91 e L75 tanto para os ambientes com e sem estresse. Já, para as linhagens L37 e L24, as quais obtiveram os menores valores para este índice na análise conjunta dos ambientes, observou-se a melhoria na resposta dessas linhagens, na condição de estresse, em relação ao ambiente sem estresse. Para os híbridos, as melhores estimativas do Índice Z foram observadas para o H91x75 nas duas condições ambientais. Já, entre os recíprocos, as combinações R75x91, R31x91, R57x91, R24x91 e R31x63 e R57x63 foram os que mais se destacaram nos dois ambientes, além do recíproco R57x63, com boa estimativa no ambiente com estresse. Diante desse resultado, destaca-se, outra vez, o efeito materno relacionado à linhagem L91.

Tabela 12 - Estimativas para o índice Z dos genótipos de milho nos ambientes com e sem estresse e para a média conjunta dos ambientes.

Genótipo	Média - Ambiente sem estresse		Média - Ambiente com estresse		Média Conjunta dos ambientes	
L91	3.63	a	3.62	a	4,73	a
L63	0.53	b	1.25	b	0,95	b
L37	-4.46	c	-0.28	c	-3,43	d
L32	-0.20	b	-3.06	c	-1,98	c
L75	3.28	a	4.14	a	4,64	a
L31	-0.70	b	-2.51	c	-2,14	c
L57	3.60	a	-2.92	c	1,11	b
L24	-5.66	c	-0.24	c	-3,88	d
H91x75	5.54	a	6.69	a	8,12	a
H91x31	0.51	b	-0.78	c	-0,39	c
H91x57	-2.31	c	-4.04	c	-3,93	d
H91x24	-0.83	b	-1.92	c	-1,56	c
H63x75	1.43	b	-4.30	c	-1,14	c
H63x31	2.18	a	0.84	b	2,18	b
H63x57	-0.56	b	0.78	b	0,09	b
H63x24	-6.05	c	-3.95	c	-6,46	d

“Tabela 12, conclusão”

H37x75	1.37	b	0.91	b	1,03	b
H37x31	-7.07	c	-2.59	c	-6,59	d
H37x57	0.66	b	-0.29	c	0,109	b
H37x24	-3.65	c	-1.80	c	-3,13	d
H32x75	2.39	a	-0.24	c	1,78	b
H32x31	-1.45	c	1.69	b	-0,43	c
H32x57	0.83	b	-0.80	c	0,57	b
H32x24	-0.46	b	-2.00	c	-1,08	c
R75x91	3.00	a	3.98	a	3,79	a
R31x91	3.43	a	2.80	a	3,68	a
R57x91	5.83	a	4.42	a	6,27	a
R24x91	4.17	a	2.89	a	4,18	a
R75x63	1.25	b	1.55	b	1,69	b
R31x63	3.70	a	3.78	a	5,32	a
R57x63	0.29	b	5.62	a	3,00	b
R24x63	-0.46	b	0.66	b	-0,24	c
R75x37	0.11	b	1.17	b	0,60	b
R31x37	-2.71	c	-0.48	c	-2,33	c
R57x37	2.09	a	-0.23	c	1,19	b
R24x37	0.19	b	0.11	c	0,42	b
R75x32	-3.94	c	-3.92	c	-4,67	d
R31x32	-1.48	c	-3.75	c	-3,25	d
R57x32	-2.74	c	-4.93	c	-4,28	d
R24x32	-5.26	c	-1.85	c	-4,54	d

*Agrupamento de médias, pelo teste de Scott e Knott a 5% de probabilidade. Dados não transformados.

Dentre as alternativas para a avaliação das características, o Índice Z facilita a visualização e a seleção dos melhores genótipos por meio da unificação das informações (MENDES; RAMALHO; ABREU, 2009). No entanto esse índice não especifica em qual das características o genótipo se destaca. Para facilitar essa visualização, a partir das médias padronizadas para cada característica, foram construídos os diagramas do tipo “bola cheia”/“bola

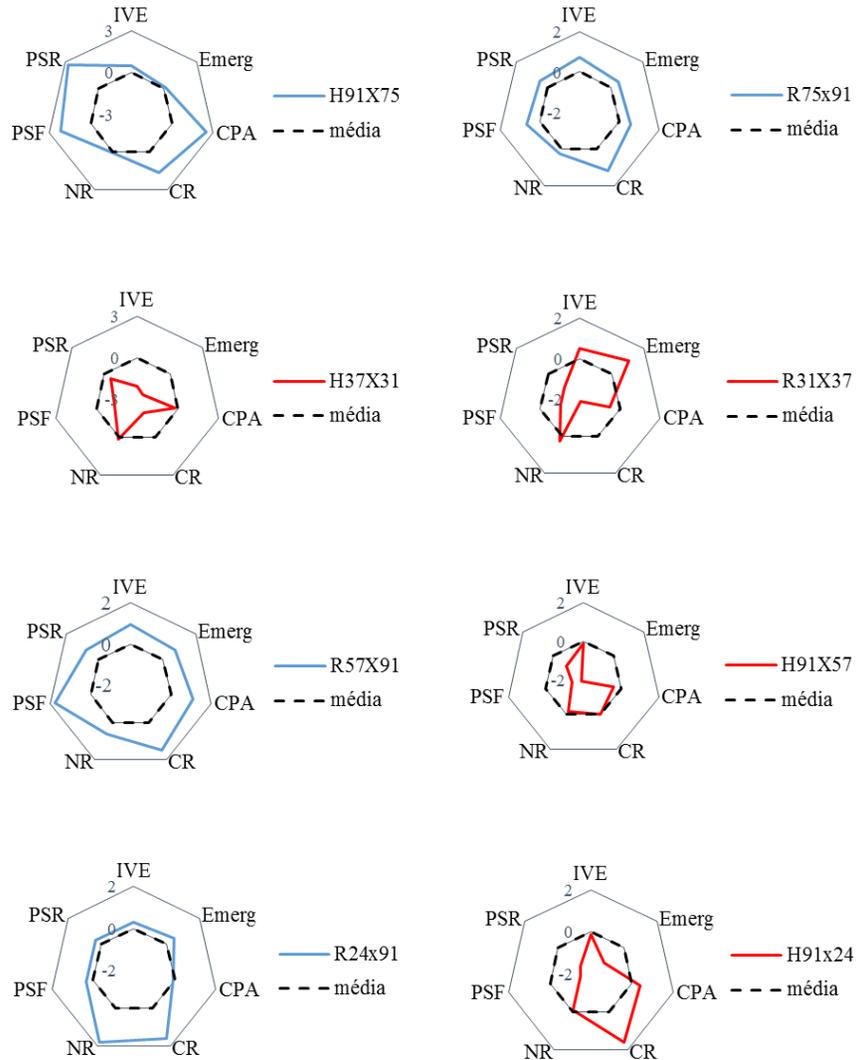
murcha”, sugeridos por Nunes, Ramalho e Abreu (2005), para as linhagens e para os híbridos mais contrastantes, disponíveis nas Figuras 1 e 2.

Foi observada a superioridade das linhagens L91, para as quais obtiveram-se médias inferiores apenas para PSR, e L75 com desempenho inferior apenas para NR. Nesse caso, o bom desempenho dessas linhagens foi transmitido para os descendentes por meio de seus cruzamentos, o que pode ser observado tanto para o híbrido H91x75 quanto para o recíproco R75x91. É interessante ressaltar a boa complementariedade dessas linhagens, uma vez que, para elas, individualmente, foram observados valores menores de NR, para a linhagem L75 e PSR a L91.

O desempenho acima da média, também foi observado para as linhagens L63 e L57. No entanto baixo desempenho pode ser observado, para as linhagens L31 e L37 e para os descendentes de seus cruzamentos, os genótipos H37x31 e R31x37. Já a linhagem L24 foi superior apenas para as características CPA e CR, nas quais foi observado baixo desempenho, em comparação com as demais linhagens. Esse baixo desempenho, também foi observado para o híbrido H91x24 (-1,56 para o Índice Z). No entanto, quando a linhagem L91 foi empregada como genitor feminino nesse cruzamento, formando-se o recíproco R24x91 (4,18 no Índice Z), observou-se melhoria significativa do desempenho, refletindo assim, o efeito materno atrelado à L91.

Situação semelhante ocorreu com o cruzamento das linhagens L91 e L57. Para o híbrido H91x57 (Índice Z de -3,93), foi observado baixo desempenho para todas as características. No entanto, para o recíproco R57x91 (Índice Z de 6,27), houve um bom desempenho para todas as variáveis analisadas.

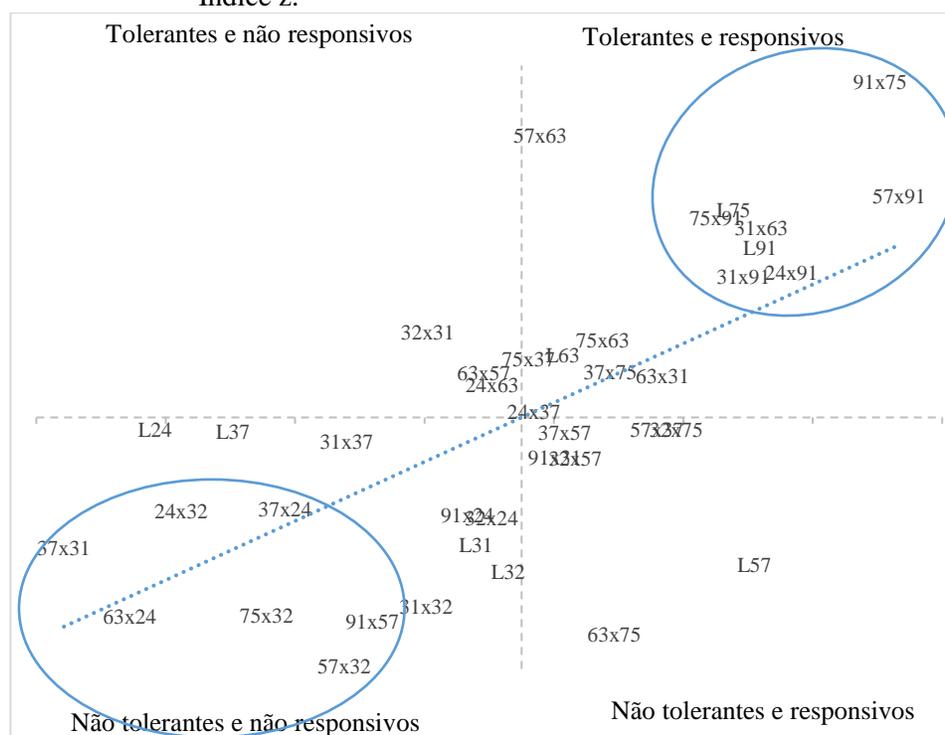
Figura 2 - Representação gráfica dos valores estimados pelo Índice Z dos híbridos e recíprocos mais contrastantes na média conjunta dos ambientes para as características de índice de velocidade de emergência (IVE), emergência (EMERG), comprimento de parte aérea (CPA), comprimento radicular (CR), número de raízes seminais (NR), peso seco da parte aérea (PSF) e peso seco de raízes (PSR).



Esses resultados foram condizentes com os encontrados, por meio da análise do índice de seleção e da análise de componentes principais, demonstrando ser o Índice Z uma ferramenta eficaz na seleção de genótipos superiores. Resultados semelhantes foram apresentados por Gomes et al. (2006), em milho e Ribeiro et al. (2016), em progênies de arroz. Estes autores concluíram que o Índice Z foi eficiente para a escolha de progênies superiores para diversas características.

A classificação dos genótipos quanto à tolerância e responsividade à melhoria do ambiente, está disponível no Gráfico 10.

Gráfico 10 - Classificação dos genótipos de milho quanto à tolerância e responsividade ao estresse hídrico para os valores estimado pelo Índice z.



No primeiro quadrante, foram dispostos aqueles genótipos considerados tolerantes ao estresse hídrico imposto e responsivos à melhoria do ambiente. Assim, destacaram-se os genótipos L91, L75, H91x75, R57x91, R75x91, R31x63, R31x91 e R24x91. Já os genótipos localizados no terceiro quadrante, especialmente, os H63x24, H37x24, H91x57, R75x32, R24x32 e R57x32, foram classificados como não tolerantes ao estresse e não responsivos à melhoria na condição ambiental. De acordo com Parentoni et al. (2001), um programa de melhoramento voltado para a tolerância ao estresse hídrico, deve ter como objetivo a identificação dos genótipos mais produtivos em condições de estresse, mas que também respondam à melhoria do ambiente.

É indiscutível a importância da seleção de genótipos de milho para a tolerância ao estresse hídrico em programas de melhoramento. A possibilidade de caracterizar, precocemente, genótipos para esta característica pode trazer benefícios importantes nos processos de seleção. Todavia o grande volume de dados gerados pela avaliação de diversas características, juntamente com o grande número de genótipos a serem testados, é um dos entraves nos programas de melhoramento. Dessa forma, o uso de índices de seleção se faz uma ferramenta eficiente na escolha de genótipos superiores.

Nesta pesquisa, houve efeito materno para qualidade fisiológica de sementes, o que implica a importância de selecionar parentais femininos com tolerância ao estresse hídrico, para a composição de híbridos visando atender a demanda de materiais em regiões sujeitas a condição de estresse hídrico, tal qual a região Centro-Oeste brasileira, principal produtora do milho de segunda safra.

No entanto, em razão da complexidade da interação genótipos por ambientes, há necessidade de se estender esta pesquisa e avaliar o desempenho e a produtividade em campo dos genótipos L91, L75, H91x75, R75x91, R57x91, R31x63, R31x91 e R24x91, os quais foram considerados promissores quanto à tolerância ao estresse hídrico.

4 CONCLUSÕES

O índice de seleção é eficiente na discriminação dos genótipos de milho quanto à tolerância ao estresse hídrico por meio da característica de número de raízes seminais.

O método do gráfico de classificação quanto à tolerância e responsividade ao estresse hídrico, índice Z e a análise de componentes principais possibilitam selecionar genótipos superiores quanto à tolerância ao estresse hídrico nas fases de germinação e emergência de plântulas.

Os genótipos L91, L75, H91x75, R75x91, R57x91, R31x63, R31x91 e R24x91 mostram-se os mais promissores quanto à tolerância ao estresse hídrico.

REFERÊNCIAS

- ABDI, H.; WILLIAMS, L. J. Principal component analysis. **Computational Statistics**, Heidelberg, v. 2, n. 4, p. 433-459, 2010.
- ÁVILA, M. R.; BRACCINI, A. L.; SCAPIM, C. A. Teste de comprimento de plântulas sob estresse hídrico na avaliação do potencial fisiológico das sementes de milho. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 29, n. 2, p. 117-124, 2007.
- BLUM, A. **Plant Breeding for Water-Limited Environments**. Springer, New York, NY, 2011. 255 p.
- CABRAL, P. D. S. et al. Genetic effects on seed quality in diallel crosses of popcorn. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 37, n. 6, p. 502-511, 2013.
- COOPER, M. et al. Breeding drought-tolerant maize hybrids for the US corn-belt: discovery to product. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, p. eru064, 2014.
- DOLATABAD, S. S. et al. Multienvironment analysis of traits relation and hybrids comparison of maize based on the genotype by trait biplot. **American Journal of Agricultural and Biological Sciences**, [S.l.], v. 5, n. 1, p. 107-113, 2010.
- DURÃES, F. O. M. et al. Caracterização fenotípica de linhagens de milho quanto ao rendimento e à eficiência fotossintética. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 4, n. 3, p. 355-361, 2005.
- FAGERIA, N. K.; KLUTHCOUSKI, J. **Metodologia para avaliação das cultivares de arroz e feijão para condições adversas de solo**. Brasília: EMBRAPA-CNPAP, 1980. 22p. (Circular Técnica, 8).
- GOMES, M. S. et al. Alternativas para seleção de híbridos de milho envolvendo vários caracteres visando à produção de silagem. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 5, n. 3, p. 406-421, 2006.

GUEDES, F. L. et al. The behavior of maize hybrids generated from contrasting progenies regarding the use of nitrogen. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 37, n. 1, p. 45-50, 2015.

JANIAK, A.; KWAŚNIEWSKI, M.; SZAREJKO, I. Gene expression regulation in roots under drought. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 67, n. 4, p. 1003-1014, 2016.

KISSOUDIS, C. et al. Future-proof crops: challenges and strategies for climate resilience improvement. **Current Opinion in Plant Biology**, [S.l.], v. 30, p. 47-56, 2016.

LAMBERT, S. et al. Potato improvement for tropical conditions: II. Selection indices and efficiency of indirect selection. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, [s. l.] v. 6, p. 185-193, 2006.

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

MAGUIRE, J. D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, Madison, v. 2, n. 1, p. 176-177, Jan./Feb. 1962.

MEEKS, M. et al. Measuring maize seedling drought response in search of tolerant germplasm. **Agronomy**, Basel, v. 3, p. 135-147, 2013.

MENDES, F. F.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Índice de seleção para escolha de populações segregantes de feijoeiro-comum. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 10, p. 1312-1318, 2009.

NUNES, J. A. R.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Graphical method in studies of adaptability and stability of cultivars. **Annual Report of Bean Improvement Cooperative**, Fort Collins, v. 48, p. 182, 2005.

PACE, J. et al. Analysis of Maize (*Zea mays* L.) Seedling Roots with the High-Throughput Image Analysis Tool ARIA (Automatic Root Image Analysis). **Plos One**, San Francisco, v. 9, n. 9, e108255, 2014.

PARENTONI S. N. et al. Melhoramento para tolerância ao alumínio como fator de adaptação a solos ácidos. In: NASS, L. L. et al. **Recursos genéticos e melhoramento**. Rondonópolis: Fundação MT, 2001. p. 783-852.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R**: A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2015

REBOLLEDO, M. C. et al. Phenotypic and genetic dissection of component traits for early vigor in rice using plant growth modelling, sugar content analyses and association mapping. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 66, n. 18, p. 5555-5566, 2015.

RIBEIRO, D. C. et al. Selection for multiple traits in upland rice progenies using the z index. **International Journal of Current Research**, [S.l.], v. 8, p. 25924-25928, 2016.

ROY, S. J.; TUCKER, E. T.; TESTER, M. Genetic analysis of abiotic stress tolerance in crops. **Current Opinion in Plant Biology**, Glen Osmond, v. 14, p. 232-239, 2011.

SCOTT, A.; KNOTT, M. Cluster-analysis method for grouping means in analysis of variance. **Biometrics**, Washington D.C., v.30, n.3, p.507-512, 1974.

SHAO, H. et al. Water-deficit stress induced anatomical changes in higher plants. **Comptes Rendus Biologies**, Paris, v. 331, p. 215-225, 2008.

TRACHSEL, S. et al. QTLs for early vigor of tropical maize. **Molecular Breeding**, Dordrecht, v. 25, n. 1, p. 91-103, 2010.

APÊNDICE A

Tabela 1.1 - Médias observadas para o índice de velocidade de emergência (IVE) por ambiente e na média conjunta dos ambientes.

Genótipos	IVE - Sem Estresse		IVE - Com Estresse		IVE - Conjunta	
L91	6,3	a	4,9	a	5,6	a
L63	5,9	a	4,6	a	5,3	a
L37	5,1	a	4,9	a	5,0	a
L32	5,0	a	4,0	b	4,5	a
L75	6,2	a	5,0	a	5,6	a
L31	5,6	a	4,1	b	4,9	a
L57	6,6	a	4,3	b	5,5	a
L24	4,9	a	4,8	a	4,9	a
MÉDIA	5,7	-	4,6	-	5,2	-

*Agrupamento de médias pelo teste de Scott e Knott a 5% de probabilidade.

Tabela 1.2 - Médias observadas e valores de heterose em porcentagem em relação aos genitores para o índice de velocidade de emergência (IVE) por ambiente e na média conjunta dos ambientes.

Genótipos	IVE - Sem Estresse		IVE - Com Estresse		IVE - Conjunta				
	Médias	H(%)	Médias	H(%)	Médias	H(%)			
H91x75	7,0	a	12,6	5,2	a	6,1	6,1	b	9,35
H91x31	6,3	b	6,2	4,8	b	7,9	5,6	c	7,05
H91x57	7,0	a	8,2	4,6	b	-0,7	5,8	b	3,75
H91x24	6,6	a	17,6	4,9	a	2,0	5,8	b	9,8
H63x75	7,0	a	15,8	4,5	b	-7,2	5,8	b	4,3
H63x31	6,7	a	16,7	5,1	a	17,3*	5,9	b	17*
H63x57	6,7	a	7,3	5,4	a	20,8*	6,0	b	14,05
H63x24	5,9	b	9,3	4,7	b	-0,8	5,3	c	4,25
H37x75	7,7	a	35,5*	5,6	a	12,2	6,6	a	23,85*
H37x31	5,2	b	-3,6	4,7	b	5,7	4,9	c	1,05
H37x57	7,0	a	18,6	4,9	a	6,5	5,9	b	12,55
H37x24	6,3	b	24,7*	5,0	a	2,6	5,6	c	13,65
H32x75	7,6	a	34,9*	5,3	a	16,9*	6,4	a	25,9*
H32x31	5,9	b	10,6	5,0	a	23,4*	5,5	c	17*
H32x57	7,3	a	25,1*	5,2	a	24,8*	6,3	a	24,95*
H32x24	6,2	b	26,0*	4,9	a	11,1	5,6	c	18,55*

“Tabela 1.2, conclusão”

MÉDIA	6,6	-	16,6	5,0	-	9,3	5,8	-	12,9
R75x91	7,2	a	15,1	5,2	a	5,8	6,2	a	10,45
R31x91	7,2	a	21,6*	5,1	a	13,1*	6,7	b	17,35*
R57x91	7,3	a	13,5	5,3	a	15,9*	6,3	a	14,7
R24x91	7,0	a	25,6*	5,0	a	3,3	6,0	b	14,45
R75x63	7,0	a	16,3	5,2	a	8,5	6,1	b	12,4
R31x63	6,8	a	18,0	5,0	a	15,3*	5,9	b	16,65*
R57x63	6,4	b	2,2	5,5	a	22,2*	5,9	b	12,2
R24x63	6,6	a	22,2*	5,1	a	7,1	5,8	b	14,65
R75x37	7,0	a	24,0*	5,2	a	5,1	6,1	b	14,55
R31x37	6,9	a	28,3*	5,3	a	18,2*	6,1	b	23,25*
R57x37	7,6	a	29,6*	5,4	a	17,1*	6,5	a	23,35*
R24x37	7,4	a	47,5*	5,5	a	12,7*	6,4	a	30,1*
R75x32	5,8	b	3,8	4,7	b	4,2	5,3	c	4
R31x32	6,1	b	15,2	4,3	b	5,5	5,0	c	10,35
R57x32	5,8	b	-0,3	4,4	b	3,8	5,1	c	1,75
R24x32	5,6	b	13,2	4,5	b	0,2	5,0	c	6,7
MÉDIA	6,7	-	18,5	5,0	-	9,9	5,9	-	14,2

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t. *Agrupamento de médias pelo teste de Scott e Knott a 5% de probabilidade.

Tabela 1.3 - Médias observadas para o teste de emergência por ambiente e na média conjunta dos ambientes.

Genótipos	Emergência - Sem Estresse		Emergência - Com Estresse		Emergência - Conjunta	
L91	98	a	100	a	99	a
L63	90	a	88	b	89	a
L37	79	a	98	a	88	a
L32	86	a	88	b	87	a
L75	92	a	99	a	95	a
L31	88	a	85	b	86	a
L57	96	a	84	b	90	a
L24	87	a	92	b	89	a
MÉDIA	89,5	-	91,8	-	90,4	-

*Agrupamento de médias pelo teste de Scott e Knott a 5% de probabilidade.

Tabela 1.4 - Médias observadas (%) e valores de heterose em porcentagem em relação aos genitores para o teste de emergência por ambiente e na média conjunta dos ambientes.

Genótipos	Emergência - Sem Estresse		Emergência - Com Estresse		Emergência - Conjunta				
	Médias	H(%)	Médias	H(%)	Médias	H(%)			
H91x75	97	a	2,11	96	a	-2,7	96	a	-0,29
H91x31	96	a	3,23	96	a	4,7	96	a	3,96
H91x57	91	b	-6,19	88	a	-3,5	89	b	-4,84
H91x24	93	b	0,54	91	a	-4,4	92	b	-1,93
H63x75	98	a	7,69	96	a	2,7	97	a	5,19
H63x31	95	a	6,74	99	a	14,5*	97	a	10,62*
H63x57	99	a	6,45	99	a	15,1*	99	a	10,77*
H63x24	88	c	-0,56	92	a	2,2	90	b	0,82
H37x75	99	a	15,79*	98	a	-0,5	98	a	7,64
H37x31	84	c	0,60	93	a	1,6	88	b	1,1
H37x57	99	a	13,14*	97	a	6,6	98	a	9,87*
H37x24	95	a	14,46*	98	a	3,2	96	a	8,83*
H32x75	99	a	11,24*	99	a	5,9	99	a	8,57*
H32x31	84	c	-3,45	98	a	13,3*	91	b	4,92
H32x57	100	a	9,89*	99	a	15,1*	99	a	12,49*
H32x24	94	a	8,67	94	a	4,4	94	b	6,53
MÉDIA	94,4	-	5,6	95,8	-	4,9	94,9	-	5,3
R75x91	100	a	5,26	95	a	-3,7	97	a	0,78
R31x91	100	a	7,53	95	a	3,6	97	a	5,56
R57x91	100	a	3,09	97	a	6,4	98	a	4,74
R24x91	100	a	8,11	94	a	-1,3	97	a	3,40
R75x63	96	a	5,49	96	a	2,7	96	a	4,09
R31x63	98	a	10,11*	94	a	8,7*	96	a	9,40*
R57x63	93	b	0,00	100	a	16,3*	96	a	8,15*
R24x63	96	a	8,47	92	a	2,2	94	b	5,33
R75x37	99	a	15,79*	98	a	-0,5	98	a	7,64
R31x37	100	a	19,76*	98	a	7,1	99	a	13,43*
R57x37	99	a	13,14*	99	a	8,8*	99	a	10,97*
R24x37	98	a	18,07*	100	a	5,3	99	a	11,68*
R75x32	95	a	6,74	94	a	0,5	94	b	3,62

“Tabela 1.4, conclusão”

R31x32	99	a	13,79*	96	a	11,0*	97	a	12,39*
R57x32	91	b	0,00	91	a	5,8	91	b	2,9
R24x32	93	b	7,51	96	a	6,7	94	b	7,10
MÉDIA	97,3	-	8,9	95,9	-	5,0	96,4	-	7,0

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t; Agrupamento de médias pelo teste de Scott e Knott a 5% de probabilidade.

Tabela 1.5 - Médias observadas (cm) para a característica de comprimento de parte aérea (CPA) por ambiente e na média conjunta dos ambientes.

Genótipos	CPA - Sem Estresse		CPA - Com Estresse		CPA - Conjunta	
L91	15,9	a	9,3	a	12,6	a
L63	13,6	b	9,5	a	11,6	b
L37	12,5	b	8,2	b	10,4	c
L32	12,1	b	7,1	c	9,6	c
L75	15,4	a	9,4	a	12,4	a
L31	14,1	a	9,3	a	11,7	b
L57	15,0	a	8,0	b	11,5	b
L24	12,9	b	8,1	b	10,5	c
MÉDIA	13,9	-	8,6	-	11,3	-

*Agrupamento de médias pelo teste de Scott e Knott a 5% de probabilidade.

Tabela 1.6 - Médias observadas (cm) e valores de heterose em porcentagem em relação aos genitores para a característica de comprimento de parte aérea (CPA) por ambiente e na média conjunta dos ambientes.

Genótipos	Emergência - Sem Estresse		Emergência - Com Estresse		Emergência - Conjunta				
	Médias	H(%)	Médias	H(%)	Médias	H(%)			
H91x75	19,6	a	25,5*	10,7	a	13,4	15,2	a	19,45*
H91x31	16,0	c	6,7	9,	b	3,5	12,8	c	5,1
H91x57	15,3	c	-1,0	9,3	c	6,5	12,3	c	2,75
H91x24	16,7	b	15,7	9,5	b	8,6	13,1	b	12,15
H63x75	16,4	c	13,2	9,2	c	-3,4	12,8	c	4,9
H63x31	18,4	a	32,6*	9,9	b	4,9	14,1	b	18,75*
H63x57	15,6	c	9,2	9,6	b	9,7	12,6	c	9,45
H63x24	14,4	c	9,0	9,8	b	10,6	12,1	d	9,8
H37x75	14,2	c	1,5	9,9	b	11,6	12,0	d	6,55

“Tabela 1.6, conclusão”

H37x31	14,8	c	11,3	10,2	b	17,0*	12,5	c	14,15
H37x57	15,0	c	8,7	9,6	b	18,4*	12,3	c	13,55
H37x24	14,1	c	10,7	8,6	c	5,3	11,3	d	8
H32x75	14,1	c	2,4	8,5	c	2,1	11,3	d	2,25
H32x31	16,8	b	28,0*	10,1	b	22,7*	13,4	b	25,35*
H32x57	14,5	c	7,3	8,4	c	10,9	11,5	d	9,1
H32x24	15,6	c	25,0*	8,4	c	10,6	12,0	d	17,8*
MÉDIA	15,7	-	12,9	9,4	-	9,5	12,6	-	11,2
R75x91	16,0	c	2,2	10,6	a	12,4	13,3	b	7,3
R31x91	15,4	c	2,9	9,7	b	3,5	12,6	c	3,2
R57x91	17,2	b	11,7	10,4	a	19,1*	13,8	b	15,4*
R24x91	15,4	c	7,0	9,8	b	11,7	12,6	c	9,35
R75x63	17,3	b	19,2*	10,9	a	15,3*	14,1	b	17,25*
R31x63	19,4	a	40,1*	10,5	a	12,1	15,0	a	26,1*
R57x63	16,3	c	14,2	11,3	a	28,1*	13,8	b	21,15*
R24x63	15,6	c	17,6*	10,6	a	20,2*	13,1	b	18,9*
R75x37	15,8	c	13,0	10,1	b	13,8	12,9	c	13,4
R31x37	14,7	c	10,1	9,8	b	11,8	12,2	c	10,95
R57x37	16,0	c	16,3*	9,6	b	18,4*	12,8	c	17,35*
R24x37	14,9	c	17,0*	8,9	c	8,4	11,9	d	12,7
R75x32	14,4	c	4,9	9,0	c	8,1	11,7	d	6,5
R31x32	14,5	c	10,7	9,1	c	10,5	11,8	d	10,6
R57x32	15,0	c	10,6	8,9	c	17,4*	11,9	d	14
R24x32	13,7	c	9,6	9,3	c	22,4*	11,5	d	16*
MÉDIA	15,7	-	12,9	9,9	-	14,6	12,8	-	13,8

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t; *Agrupamento de médias pelo teste de Scott e Knott a 5% de probabilidade.

Tabela 1.7 - Médias observadas (cm) para a característica de comprimento radicular (CR) por ambiente e na média conjunta dos ambientes.

Genótipos	CR - Sem Estresse		CR - Com Estresse		CR - Conjunta	
L91	19,1	a	15,1	b	17,1	a
L63	18,1	a	16,1	b	17,1	a
L37	15,6	a	12,8	c	14,2	b
L32	19,9	a	15,1	b	17,5	a

“Tabela 1.7, conclusão”

L75	18,3	a	14,2	c	16,2	a
L31	17,2	a	12,3	c	14,8	b
L57	19,6	a	12,7	c	16,2	a
L24	15,5	a	17,9	a	16,7	a
MÉDIA	17,9	-	14,5	-	16,2	-

*Agrupamento de médias pelo teste de Scott e Knott a 5% de probabilidade.

Tabela 1.8 - Médias observadas (cm) e valores de heterose em porcentagem em relação aos genitores para a característica de comprimento radicular (CR) por ambiente e na média conjunta dos ambientes.

Genótipos	CR - Sem Estresse		CR - Com Estresse		CR - Conjunta				
	Médias	H(%)	Médias	H(%)	Médias	H(%)			
H91x75	26,8	a	43,2*	19,7	a	33,2*	23,2	a	38,2*
H91x31	20,4	d	12,1	14,1	d	2,0	17,2	d	7,05
H91x57	22,2	c	14,4	18,0	b	28,4*	20,1	b	21,4
H91x24	24,7	a	42,5*	21,6	a	30,2*	23,2	a	36,35*
H63x75	22,8	b	25,0	15,4	d	1,6	19,1	b	13,3
H63x31	21,9	c	23,8	17,3	c	21,7	19,6	b	22,75
H63x57	22,2	c	17,9	17,6	b	22,5	19,9	b	20,2
H63x24	21,1	c	25,4	16,6	c	-2,4	18,8	b	11,5
H37x75	23,0	b	35,4*	16,1	c	19,6	19,5	b	27,5*
H37x31	18,5	d	13,0	14,4	d	15,0	16,5	d	14
H37x57	21,4	c	21,8	16,5	c	29,0*	19,0	b	25,4
H37x24	21,4	c	37,5*	18,6	b	21,6	20,0	b	29,55*
H32x75	26,3	a	37,8*	19,5	a	33,3*	22,9	a	35,55*
H32x31	20,1	d	8,4	16,8	c	22,2	18,4	c	15,3
H32x57	22,9	b	16,2	17,8	b	28,1*	20,4	b	22,15
H32x24	22,8	b	28,7*	20,0	a	21,5	21,4	a	25,1
MÉDIA	22,4	-	25,2	17,5	-	20,5	20,0	-	22,8
R75x91	23,5	b	25,7	21,3	a	44,2*	22,4	a	34,95*
R31x91	24,3	b	33,7*	20,2	a	46,2*	22,3	a	39,95*
R57x91	26,4	a	36,3*	19,4	a	38,1*	22,9	a	37,2*
R24x91	25,3	a	46,2*	20,9	a	25,5	23,1	a	35,85*
R75x63	22,9	b	25,5	18,5	b	22,2	20,7	b	23,85

“Tabela 1.8, conclusão”

R31x63	22,7	b	28,2	16,9	c	18,8	19,8	b	23,5
R57x63	23,2	b	23,0	18,2	b	26,1	20,7	b	24,55
R24x63	21,1	c	25,4	18,7	b	10,1	19,9	b	17,75
R75x37	20,9	c	23,0	17,9	b	33,0*	19,4	b	28*
R31x37	18,6	d	13,5	14,3	d	14,0	16,5	d	13,75
R57x37	22,2	c	26,0	16,0	c	25,2	19,1	b	25,6
R24x37	21,9	c	40,6*	18,9	b	23,0	20,4	b	31,8*
R75x32	19,2	d	0,7	17,7	b	21,1	18,5	c	10,9
R31x32	20,4	d	9,9	15,0	d	9,4	17,7	c	9,65
R57x32	23,0	b	16,6	17,8	b	28,1*	20,4	b	22,35
R24x32	23,1	b	30,4*	19,9	a	20,6	21,5	a	25,5
MÉDIA	22,4	-	25,3	18,2	-	25,4	20,3	-	25,3

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t; *Agrupamento de médias pelo teste de Scott e Knott a 5% de probabilidade.

Tabela 1.9 - Médias observadas para a característica de número de raízes seminais (NR) por ambiente e na média conjunta dos ambientes.

Genótipos	NR - Sem Estresse		NR - Com Estresse		NR - Conjunta	
L91	6,6	a	6,6	a	6,6	a
L63	5,7	a	5,5	b	5,6	b
L37	4,2	b	4,6	c	4,4	c
L32	6,0	a	5,6	b	5,8	b
L75	2,5	c	2,1	e	2,3	f
L31	3,9	b	3,7	d	3,8	d
L57	2,7	c	2,7	e	2,7	f
L24	2,8	c	3,4	d	3,1	e
MÉDIA	4,3	-	4,3	-	4,3	-

*Agrupamento de médias pelo teste de Scott e Knott a 5% de probabilidade.

Tabela 1.10 - Médias observadas e valores de heterose em porcentagem em relação aos genitores para a característica de número de raízes seminais (NR) por ambiente e na média conjunta dos ambientes.

Genótipos	NR - Sem Estresse		NR - Com Estresse		NR - Conjunta				
	Médias	H(%)	Médias	H(%)	Médias	H(%)			
H91x75	4,5	d	-0,3	4,8	c	12,2	4,7	d	5,95
H91x31	6,7	a	28,1*	6,6	a	28,5	6,6	a	28,3*

“Tabela 1.10, conclusão”

H91x57	4,4	d	-5,1	4,7	c	1,4	4,5	e	-1,85
H91x24	4,6	d	-1,1	4,6	c	-8,2	4,6	d	-4,65
H63x75	4,1	e	0,6	3,8	d	0,7	4,0	f	0,65
H63x31	5,2	c	9,1	5,2	b	13,3	5,2	c	11,2
H63x57	3,5	e	-16,7*	3,9	d	-4,0	3,7	f	-10,35
H63x24	4,1	e	-4,4	4,2	d	-5,9	4,1	f	-5,15
H37x75	4,0	e	20,0*	4,2	d	26,4	4,1	f	23,2*
H37x31	4,7	d	16,9*	4,8	c	15,0	4,8	d	15,95*
H37x57	4,1	e	18,8*	4,1	d	13,7	4,1	f	16,25*
H37x24	4,1	e	17,4*	4,5	c	13,0	4,3	e	15,2
H32x75	4,1	e	-3,8	4,8	c	22,8	4,4	e	9,5
H32x31	6,3	a	28,3*	6,6	a	41,0*	6,5	a	34,65*
H32x57	3,8	e	-12,4	4,2	d	0,6	4,0	f	-5,9
H32x24	4,2	e	-4,0	4,5	c	0,0	4,4	e	-2
MÉDIA	4,5	-	5,7	4,7	-	10,7	4,6	-	8,2
R75x91	5,1	c	11,8	4,7	c	8,7	4,9	d	10,25
R31x91	6,0	b	14,8*	6,8	a	31,9	6,4	a	23,35*
R57x91	4,8	d	4,6	5,5	b	19,8	5,2	c	12,2
R24x91	5,8	b	24,5*	6,7	a	33,9*	6,2	a	29,2*
R75x63	3,7	e	-10,3	3,7	d	-2,0	3,7	f	-6,15
R31x63	5,6	c	17,4*	5,6	b	21,4	5,6	b	19,4*
R57x63	4,4	d	5,4	4,9	c	21,1	4,7	d	13,25
R24x63	4,3	d	0,3	4,5	c	1,4	4,4	e	0,85
R75x37	3,7	e	10,4	4,3	d	28,6	4,0	f	19,5*
R31x37	4,6	d	12,6	5,3	b	26,3	4,9	d	19,45*
R57x37	4,0	e	15,2*	4,1	d	13,7	4,0	f	14,45
R24x37	4,1	e	16,0*	3,9	d	-1,9	4,0	f	7,05
R75x32	3,8	e	-10,9	4,1	d	4,8	3,9	f	-3,05
R31x32	6,0	b	20,7*	5,8	b	22,9	5,9	b	21,8*
R57x32	3,7	e	-14,1	3,7	d	-10,2	3,7	f	-12,05
R24x32	3,7	e	-15,9*	4,2	d	-7,1	4,0	f	-11,5
MÉDIA	4,6	-	6,4	4,9	-	13,3	4,7	-	9,9

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t; **Agrupamento de médias pelo teste de Scott e Knott a 5% de probabilidade.

Tabela 1.11 - Médias observadas (mg) para a característica de peso seco de parte aérea (PSF) por ambiente e na média conjunta dos ambientes.

Genótipos	PSF - Sem Estresse		PSF - Com Estresse		PSF - Conjunta	
L91	41,5	a	20,5	c	31	b
L63	42,5	a	20,0	c	31,2	b
L37	35,2	b	21,7	c	28,5	c
L32	37,0	b	15,5	d	26,2	c
L75	48,5	a	27,2	a	37,9	a
L31	38,5	b	23,0	b	30,7	b
L57	47,7	a	24,2	b	36	a
L24	32,7	b	20,0	c	26,4	c
MÉDIA	40,5	-	21,5	-	31,0	-

*Agrupamento de médias pelo teste de Scott e Knott a 5% de probabilidade.

Tabela 1.12 - Médias observadas (mg) e valores de heterose em porcentagem em relação aos genitores para a característica de peso seco de parte aérea (PSF) por ambiente e na média conjunta dos ambientes.

Genótipos	PSF - Sem Estresse		PSF - Com Estresse		PSF - Conjunta				
	Médias	H(%)	Médias	H(%)	Médias	H(%)			
H91x75	56,5	a	25,6*	29,7	a	25,9*	43,1	a	25,75*
H91x31	46,0	b	15,0	23,0	b	7,0	34,5	c	11
H91x57	40,2	b	-9,8	22,7	b	2,8	31,5	d	-3,5
H91x24	42,7	b	15,2	19,7	b	-1,3	31,2	d	6,95
H63x75	55,2	a	21,4*	25,0	b	5,8	40,1	a	13,6
H63x31	50,5	a	24,7*	22,5	b	4,7	36,5	b	14,7
H63x57	47,7	b	5,8	27,2	a	23,2*	37,5	b	14,5
H63x24	41,2	b	9,6	22,5	b	12,5	31,9	d	11,05
H37x75	44,0	b	5,1	27,5	a	12,2	35,7	c	8,65
H37x31	40,2	b	9,2	23,2	b	3,9	31,7	d	6,55
H37x57	48,2	a	16,3	28,7	a	25,0*	38,5	b	20,65*
H37x24	41,5	b	22,1*	20,7	b	-0,6	31,1	d	10,75
H32x75	47,5	b	11,1	21,5	b	0,6	34,5	c	5,85
H32x31	46,5	b	23,2*	23,0	b	19,5*	34,7	c	21,35*
H32x57	45,5	b	7,4	23,0	b	15,7	34,2	c	11,55
H32x24	53,5	a	53,4*	23,5	b	32,4*	38,5	b	42,9*
MÉDIA	46,7	-	16,0	24,0	-	11,8	35,3	-	13,9

“Tabela 1.12, conclusão”

R75x91	47,2	b	5,0	29,2	a	23,8*	38,2	b	14,4
R31x91	47,2	b	18,1	23,7	b	10,5	35,5	c	14,3
R57x91	55,2	a	23,8*	28,2	a	27,7*	41,7	a	25,75*
R24x91	50,2	a	35,4*	24,0	b	20,0*	37,1	b	27,7*
R75x63	53,7	a	18,1	27,2	a	15,3	40,5	a	16,7
R31x63	51,5	a	27,2*	24,5	b	14,0	38,0	b	20,6*
R57x63	50,2	a	11,4	29,2	a	32,2*	39,7	a	21,8*
R24x63	50,2	a	33,6*	27,0	a	35,0*	38,6	b	34,3*
R75x37	46,7	b	11,6	27,2	a	11,2	37,0	b	11,4
R31x37	40,0	b	8,5	25,2	b	12,8	32,6	d	10,65
R57x37	46,7	b	12,7	25,7	a	12,0	36,2	b	12,35
R24x37	46,7	b	37,5*	24,5	b	17,4	35,6	c	27,45*
R75x32	49,0	a	14,6	22,5	b	5,3	35,7	c	9,95
R31x32	41,7	b	10,6	21,2	b	10,4	31,5	d	10,5
R57x32	49,2	a	16,2	22,0	b	10,7	35,6	c	13,45
R24x32	41,5	b	19,0	23,5	b	32,4*	32,5	d	25,7*
MÉDIA	47,9	-	19,0	25,3	-	18,2	36,6	-	18,6

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t; *Agrupamento de médias pelo teste de Scott e Knott a 5% de probabilidade

Tabela 1.13 - Médias observadas (mg) para a característica de peso seco de raízes (PSR) por ambiente e na média conjunta dos ambientes.

Genótipos	PSR - Sem Estresse		PSR - Com Estresse		PSR - Conjunta	
L91	31,7	c	38,5	b	35,1	c
L63	33,5	c	31,5	b	32,5	c
L37	35,2	c	30,5	b	32,9	c
L32	51	b	41	b	46	b
L75	60,5	a	74,2	a	67,4	a
L31	44,2	b	28,5	b	36,4	c
L57	53,7	a	40,7	b	47,2	b
L24	28	c	24,7	b	26,4	c
MÉDIA	42,2	-	38,7	-	40,5	-

*Agrupamento de médias pelo teste de Scott e Knott a 5% de probabilidade.

Tabela 1.14 - Médias observadas (mg) e valores de heterose e heterose em porcentagem em relação aos genitores para a característica de peso seco de raízes (PSR) por ambiente e na média conjunta dos ambientes.

Genótipos	PSR - Sem Estresse		PSR - Com Estresse		PSR - Conjunta				
	Médias	H(%)	Médias	H(%)	Médias	H(%)			
H91x75	48,2	b	4,6	99,2	a	78,4*	73,7	a	41,5*
H91x31	45,7	b	20,4	44	c	34,4	44,9	c	27,4
H91x57	48,7	b	14	37,2	c	-4,2	43	c	4,9
H91x24	40	b	33,9*	38	c	23,1	39	c	28,5
H63x75	45,5	b	-3,2	35	c	-33,8	40,2	c	-18,5
H63x31	50	b	28,6	54	b	80*	52	b	54,3*
H63x57	53,7	a	23,2	45,2	c	25,3	49,5	c	24,25
H63x24	39,2	b	27,6	32,7	c	16,4	36	c	22
H37x75	67,2	a	40,5*	45,7	c	-12,6	56,5	b	13,95
H37x31	47,5	b	19,5	43,2	c	46,6	45,4	c	33,05
H37x57	63,5	a	42,7*	46,5	c	30,5	55	b	36,6
H37x24	48,5	b	53,4*	50,5	b	82,8*	49,5	c	68,1*
H32x75	59,5	a	6,7	52,7	b	-8,5	56,1	b	-0,9
H32x31	52,2	b	9,7	46,7	c	34,5	49,5	c	22,1
H32x57	63,7	a	21,7	61,5	b	50,5	62,6	b	36,1
H32x24	49,2	b	24,7	41,7	c	27	45,5	c	25,85
MÉDIA	51,4	-	23,0	48,4	-	29,4	49,9	-	26,2
R75x91	58,5	a	26,8	51	b	-8,3	54,7	b	9,25
R31x91	51	b	34,2*	51,2	b	56,5*	51,1	c	45,35*
R57x91	57,5	a	34,5*	56,5	b	45,3	57	b	39,9
R24x91	55,2	a	84,9*	51,2	b	66*	53,2	b	75,45*
R75x63	49	b	4,3	46,2	c	-12,5	47,6	c	-4,1
R31x63	44	b	13,2	88,7	a	226,7*	71	a	120,1*
R57x63	54,5	a	24,9	60,2	b	66,8*	57,4	b	45,85*
R24x63	53,5	a	74*	41,5	c	47,6*	47,5	c	60,8*
R75x37	60,7	a	26,9	44,2	c	-15,5	52,5	b	5,7
R31x37	46,5	b	17	37	c	25,4	41,7	c	21,2
R57x37	64,7	a	45,5*	43,5	c	22,1	54,1	b	33,8
R24x37	55	a	73,9*	47,7	b	72,9	51,4	c	73,4*

“Tabela 1.14, conclusão”

R75x32	50,2	b	-9,9	34,5	c	-40,1	42,4	c	-25
R31x32	46,5	b	-2,4	37,7	c	8,6	42,1	c	3,1
R57x32	51,7	b	-1,2	47,5	b	16,2	49,6	c	7,5
R24x32	43,2	b	9,5	42	c	27,8	42,6	c	18,65
MÉDIA	52,6	-	28,5	48,8	-	37,8	51,0	-	33,2

*Agrupamento de médias pelo teste de Scott e Knott a 5% de probabilidade.

APÊNDICE B

Tabela 1.1 - Resumo da análise de variância para os resultados obtidos no índice de seleção de genótipos de milho em relação à tolerância ao déficit hídrico para as características de índice de velocidade de emergência (IVE), emergência (EMERG), comprimento de parte aérea (CPA), comprimento radicular (CR), número de raízes seminais (NR), peso seco da parte aérea (PSF) e peso seco de raízes (PSR).

FV	GL	QM						
		IVE	EMERG	CPA	CR	NR	PSF	PSR
Genótipos	39	0,08**	0,02**	0,10**	0,13**	0,94**	0,16**	0,72**
Erro	120	0,02	0,01	0,01	0,02	0,03	0,03	0,11
Total	159							
Média		1,00	0,99	1,00	1,00	1,04	1,00	1,01
CV (%)		15,34	9,20	10,43	13,48	15,77	16,76	33,47

**Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 1.2 - Resumo da análise de variância para os resultados obtidos no índice Z nas médias dos ambientes sem e com estresse, e na análise conjunta dos ambientes.

FV	GL	QM		
		AMBIENTE SEM ESTRESSE ¹	AMBIENTE COM ESTRESSE ¹	ANÁLISE CONJUNTA ¹
Genótipos	39	40,74**	34,31**	48,87**
Erro	120	7,68	7,73	6,38
Total	159			
Média		12,00	12,00	12,00
CV (%)		23,09	23,18	21,05

¹Dados transformados pelo acréscimo da constante 12.

**Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 1.3 - Resumo da análise de variância individual no ambiente sem estresse para as linhagens de milho em relação à tolerância ao déficit hídrico para as características de índice de velocidade de emergência (IVE), emergência (EMERG), comprimento de parte aérea (CPA), comprimento radicular (CR), número de raízes seminais (NR), peso seco da parte aérea (PSF) e peso seco de raízes (PSR).

FV	GL	QM						
		IVE	EMERG	CPA	CR	NR	PSF	PSR
Genótipos	7	1,6	378,8	7,8*	11,5	10,5*	128,8*	562,7*
Erro	24	1,0	305,1	1,1	8,2	0,3	22,5	32,2
Total	31							
Média		5,7	87	13,9	17,9	4,3	40,4	42,2
CV (%)		17,4	20,0	7,4	16,0	12,9	11,7	13,4

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 1.4 - Resumo da análise de variância individual no ambiente sem estresse para os híbridos e recíprocos de milho em relação à tolerância ao déficit hídrico para as características de índice de velocidade de emergência (IVE), emergência (EMERG), comprimento de parte aérea (CPA), comprimento radicular (CR), número de raízes seminais (NR), peso seco da parte aérea (PSF) e peso seco de raízes (PSR).

FV	GL	QM						
		IVE	EMERG	CPA	CR	NR	PSF	PSR
Genótipos	31	1,6*	78,4*	8,5*	17,2*	3,0*	87,5*	202,9
Erro	96	0,3	25,3	1,6	3,0	0,2	29,4	112,4
Total	127							
Média		6,7	96	15,7	22,4	4,5	47,3	52,0
CV (%)		8,5	5,2	8,1	7,7	9,18	11,4	20,4

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 1.5 - Resumo da análise de variância individual no ambiente com estresse para as linhagens de milho em relação à tolerância ao déficit hídrico para as características de índice de velocidade de emergência (IVE), emergência (EMERG), comprimento de parte aérea (CPA), comprimento radicular (CR), número de raízes seminais (NR), peso seco da parte aérea (PSF) e peso seco de raízes (PSR).

FV	GL	QM						
		IVE	EMERG	CPA	CR	NR	PSF	PSR
Genótipos	7	0,6*	167,7*	3,1*	14,6*	9,6*	48,2*	966,3*
Erro	24	0,3	65,6	0,4	1,5	0,2	5,2	147,2
Total	31							
Média		4,6	92	8,6	14,5	4,3	21,5	38,7
CV (%)		11,7	8,8	7,3	8,6	10,5	10,6	31,3

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 1.6 - Resumo da análise de variância individual no ambiente com estresse para os híbridos e recíprocos de milho em relação à tolerância ao déficit hídrico para as características de índice de velocidade de emergência (IVE), emergência (EMERG), comprimento de parte aérea (CPA), comprimento radicular (CR), número de raízes seminais (NR), peso seco da parte aérea (PSF) e peso seco de raízes (PSR).

FV	GL	QM						
		IVE	EMERG	CPA	CR	NR	PSF	PSR
Genótipos	31	0,4*	35,0	2,3*	16,3*	3,1*	30,0*	775,5*
Erro	96	0,2	23,6	0,3	2,3	0,2	7,2	108,5
Total	127							
Média		5,0	96	9,7	17,9	4,8	24,6	48,6
CV (%)		10,1	5,0	5,7	8,5	9,6	10,9	21,4

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 1.7 - Resumo da análise de variância conjunta para os ambientes para as linhagens de milho em relação à tolerância ao déficit hídrico para as características de índice de velocidade de emergência (IVE), emergência (EMERG), comprimento de parte aérea (CPA), comprimento radicular (CR), número de raízes seminais (NR), peso seco da parte aérea (PSF) e peso seco de raízes (PSR).

FV	GL	QM						
		IVE	EMERG	CPA	CR	NR	PSF	PSR
Genótipos	7	1,3	152,2	8,7*	11,0*	19,9*	140,1*	1332,1*
Ambientes	1	19,7*	83,2	449,4*	185,6*	0	5738,0*	199,5
G*A	7	1,0	160,2	2,2*	15,0*	0,2	36,9*	196,9
Erro	48	0,6	98,3	0,7	4,9	0,2	13,9	89,6
Total	63							
Média		5,17	90	11,3	16,23	4,3	31	40,48
CV (%)		15,53	10,94	7,60	13,65	11,78	12,02	23,39

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 1.8 - Resumo da análise de variância conjunta dos ambientes para os híbridos e recíprocos de milho em relação à tolerância ao déficit hídrico para as características de índice de velocidade de emergência (IVE), emergência (EMERG), comprimento de parte aérea (CPA), comprimento radicular (CR), número de raízes seminais (NR), peso seco da parte aérea (PSF) e peso seco de raízes (PSR).

FV	GL	QM						
		IVE	EMERG	CPA	CR	NR	PSF	PSR
Genótipos	31	1,6*	78,2*	7,9*	28,5*	5,9*	83,5*	571,3*
Ambientes	1	179,7*	0	2331,1*	1320,8*	3,5*	32919*	628,1*
G*A	31	0,5*	35,2	2,8*	4,9*	0,2	34,0*	513,7*
Erro	192	0,3	24,5	1,0	2,6	0,2	18,3	115,9
Total	255							
Média		5,9	96	12,7	20,1	4,7	36	50,4
CV (%)		9,33	5,16	7,75	8,0	9,4	11,9	21,3

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 1.9 - Resumo da análise de variância para os resultados obtidos no teste de envelhecimento acelerado e para a razão entre comprimento radicular (CR) e comprimento de parte aérea (CPA) nos ambientes sem e com estresse e na diferença entre os ambientes.

FV	GL	QM			
		Envelhecimento Acelerado	CR/CPA Sem estresse	CR/CPA Com estresse	CR/CPA Diferença
Genótipos	39	88,8*	0,1*	0,3*	0,1*
Erro	120	12,4	0,0	0,0	0,0
Total	159				
Média		95	1,4	1,8	0,4
CV (%)		3,7	10,4	8,6	52,5

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.